INSTRUMENTOS MUSICALES ELECTRONICOS

NUEVAS
TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA




NUEVAS
TECNOLOGIAS
BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

INSTRUMENTOS MUSICALES ELECTRONICOS



Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-867-3 (Vol. 54)
D. L.: B. 41863-1986

Impreso y encuadernado por
printer industria gráfica, sa c.n. II, cuatro caminos, s/n
08620 sant vicenç dels horts barcelona 1986

Printed in Spain

Instrumentos musicales electrónicos

BREVE APUNTE HISTORICO

Algunas personas tienen la impresión de que la tecnología electrónica-musical ha hecho su aparición y se ha implantado de modo imprevisto en apenas un decenio. Como se verá a continuación, tal creencia es sólo parcialmente correcta, motivo por el cual parece oportuno resaltar que el origen de los instrumentos musicales eléctricos y electrónicos se remonta a las postrimerías del siglo XIX.



Secuenciador digital Roland CSQ 600, que permite almacenar y preproducir hasta 600 notas en cuatro grupos de 150. Los valores tonales y la métrica pueden ser introducidos en la unidad por separado.

Cronológicamente, uno de los más antiguos de los que se tiene noticia es un piano electromecánico inventado por un tal Hipp, director de una fábrica de aparatos para telegrafía, en 1867. Le siguen otros instrumentos análogos atribuidos a

E. Lorenz y Eisseman en 1885 que, en su época, fueron considerados como inventos estrafalarios que serían olvidados por completo hasta 1900.

El primer paso, propiamente dicho, hacia la máquina musical completa fue dado por Thaddeus Cahill. En un artículo publicado en la revista Electrical World el 10 de marzo de 1900, el especialista en electrotecnia pudo leer con asombro: «Actualmente, en un taller ubicado en Holyoke (Massachussets), se produce una hermosa música con un grupo de dinamos de corriente alterna, sin la intervención de instrumentos de metal o cuerda. Y la música puede oirse donde quiera que haya tendido un par de alambres y un



El «Telarmonio» es uno de los más primitivos instrumentos musicales eléctricos.

auricular. La idea comercial de tal invención consiste en vender esta clase de música a hoteles, restaurantes, teatros, almacenes y a particulares amantes de las novedades...»

Se trataba de un relato sobre los experimentos de Cahill, que se servía de medios técnicos que ya prestaban servicios a la telefonía: doce alternadores polifásicos, reostatos para mezclar y atenuar las señales y un teclado de organista. El instrumento, denominado *telarmonio,* pesaba alrededor de 200 toneladas y presentaba el aspecto de una fábrica de maquinaria de regulares dimensiones.

Comercialmente fracasó debido a la necesidad de la transmisión alámbrica. Aún no se conocían la válvula ni el altavoz, pero la idea, expresada y discutida, ejerció su influencia.

Hacia 1906 Lee de Forest, todavía sin comprender bien todo su alcance, patenta lo que sería un invento revolucionario: el audión o válvula triodo. En un principio se utiliza como radiodetector, aunque el propio De Forest encuentra más tarde otras posibilidades de aplicación, entre las que figura el primer instrumento musical completamente electrónico que patenta en abril de 1915. Este no llega a aplicarse inmediatamente en la práctica, pero sirve como base no sólo de muchos otros instrumentos posteriores, sino también de los osciladores empleados en radiodifusión.

A principios de 1920 un joven ruso, León Theremin, que había estudiado física en la Universidad de Petrogrado y a la vez violoncello en el Instituto de Música de aquella ciudad, proyecta y construye otro instrumento completamente electrónico cuya huella debería llegar hasta nuestros días. El instrumento, denominado *termenvoksa* o *theremín*, como se le llamó luego en todo el mundo, no posee medio visible de control sino que se ejecuta moviendo las manos sobre dos antenas. Con una de ellas se controla la altura musical —que puede alcanzar unas cuatro octavas— mientras que con la otra se gobierna el volumen de las notas.

Diversos compositores contemporáneos de León Theremin, como Andrey Filippovich Paschchenko, escribieron distintas obras para *theremin* y orquesta. Incluso el propio Theremin dio numerosos conciertos por Europa en los que se habían llegado a emplear varios «theremines», voces, piano, celesta y armonio hasta que, en 1927, se instaló en Estados Unidos. En dicho país diseñó y construyó, en colaboración con destacados compositores e intérpretes,

otros aparatos musicales como el *ritmicón*, un instrumento fotoeléctrico capaz de producir efectos de percusión polirrítmicos, precursor de las actuales cajas de ritmos.

Muchos otros instrumentos electrónicos contribuyeron también a enriquecer por aquella época las posibilidades sonoras de toda clase de música.



Clara Rockmore es una virtuosa del Theremin, y ha dedicado la mayor parte de su carrera musical al desarrollo de una técnica de ejecución para este singular instrumento electrónico.

Destacan el *ondas Martenot* (1932) cuyo inventor Maurice Martenot, radiotelegrafista y profesor de música, tardó casi diez años en madurarlo aunque, no obstante, ese tiempo de espera no resultó infructuoso ya que, una vez puesto a punto, se convirtió en uno de los primeros instrumentos electrónicos que siendo adecuado para conciertos sería usado en gran escala incluso por famosos compositores.



Piano electrónico capaz de reproducir con gran fidelidad las notas de un piano clásico, ocupando un volumen mucho menor.
(Cortesía: Roland).

Otro coetáneo de Maternot y Theremin fue el norteamericano Hugo Gernsback, a quien se atribuyen dos instrumentos de su invención: el *staccatone* y el *pianorad.* El primero fue un simple prototipo de instrumento monofónico que desembocaría en el *pianorad*, el cual puede considerarse como uno de los primeros teclados polifónicos completamente electrónicos. Incorporaba 25 osciladores LC acoplados a otros tantos diafragmas de altavoz, los cuales se hallaban ensamblados a un único difusor acústico. Fue presentado en 1926 en una demostración pública transmitida por una emisora de radio neoyorkina.

También Berlín, a finales de los años veinte, era un centro

musical de importancia mundial. En esta ciudad, Friederick Trautwien construye un instrumento que luego recibiría el nombre de *trautonio.*

Emplea por vez primera válvulas de neón que, además de simplificar el circuito, proporcionan señales en forma de diente de sierra muy ricas en armónicos. Ya en 1932 la casa Telefunken comienza a fabricar un modelo perfeccionado de *trautonio*, con tiratrones y filtros resonantes, del que llegan unos 50 aparatos al mercado. Se trata, pues, del primer instrumento musical electrónico fabricado en serie que causó gran sensación en la Exposición de la Radio de Berlín de 1932.



Moderno sintetizador polifónico capaz de emitir una gran cantidad de notas musicales, gracias a la posibilidad de trabajar con diferentes tipos de ondas y armónicos, memorizando las notas pulsadas. (Cortesía: Roland).

Durante los veinte años siguientes se suceden rápidamente un considerable número de aparatos musicales electrónicos, muchos de los cuales han quedado relegados al olvido. La siguiente enumeración puede dar una pequeña idea de ello.

Organo Hammond: Inventado por Laurens Hammond en 1934 y ampliamente difundido hasta nuestros días, funciona bajo el principio del *telarmonio* de Cahill.

Novachord: También desarrollado por Hammond en 1938.

Voder: Presentado en la Feria Mundial de Nueva York en 1939; según las definiciones actuales se trataba de un auténtico sintetizador electrónico de voz.

Ondiolina: Construido por Georges Jenny y fabricado por la firma «La Música Electronique de París» en 1941.

Claviolina: Desarrollado por Constant Martin y fabricado en serie desde 1947 en Estados Unidos.

Melocordio y *Policordio*: Desarrollados ambos por Harold Bode en 1949 y 1952 respectivamente, también fueron fabricados en serie.

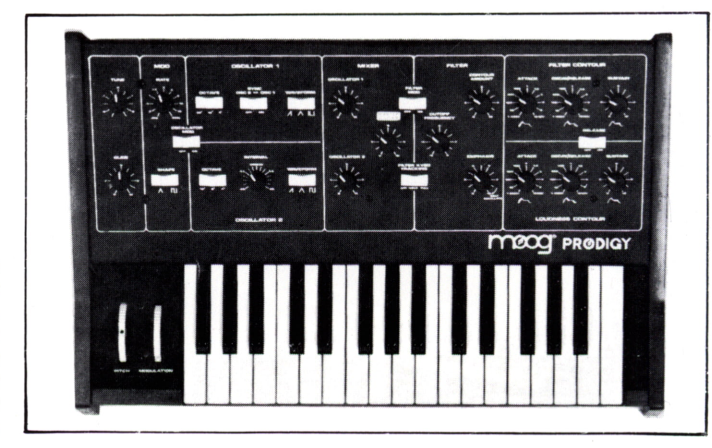


Robert Moog, a quien se debe la idea del sintetizador controlado por tensión.

En 1948 el ingeniero y músico parisino Pierre Schaeffer comienza a realizar distintos experimentos de composición musical con sonidos naturales alterados y electrónicos, montados sobre cinta magnética. Entre sus trabajos se cuenta la realización de máquinas musicales como el *fonógeno* y *morfófono*, que son construcciones muy especializadas basadas en el magnetofón.

En 1955 se construyen al amparo de la RCA los sintetizadores *Mark I* y *Mark II*, ingenios desarrollados por los doctores Harry Olson y Herbert Belar. Se trata del primer conjunto de aparatos específicamente diseñado para la producción de música electrónica, que incorpora osciladores, filtros y amplificadores programables y controlables simultáneamente con ayuda de una banda de papel perforado.

A mediados de 1964, el doctor Robert Moog, con la colaboración del músico Herbert Deutsch, desarrolla dos rudimentarios osciladores controlados por tensión (VCO), que, según él mismo, son simples extensiones de la entonces incipiente técnica del transistor uniunión (UJT) y un amplificador de ganancia controlada por tensión. En octubre de 1965 pone a punto un filtro pasobajo, controlado por tensión, y un pasoalto del mismo tipo (VCF).



El Moog Prodigy, uno de los sintetizadores más sencillos del mercado, cuyos módulos se hallan permanentemente interconectados según una configuración estándar.

De la colaboración entre Moog y diversos músicos y compositores surgen otras ideas, como los generadores de envolvente (ADSR), teclados con memoria, secuenciadores, extractores de envolvente, etc., y en 1967 la compañía Moog Music Inc. produce una línea completa de funciones modulares que revolucionarían este campo, haciendo todos ellos gala de una extraordinaria versatilidad y facilidad de operación para la obtención de sonidos musicales.

El concepto del *control por tensión* ideado por Moog, así como su prolífica trayectoria profesional como creador de instrumentos musicales electrónicos, han hecho de él el padre indiscutible de los actuales sintetizadores de sonidos. De hecho, el criterio del control por tensión y aun las especificaciones establecidas en sus sistemas modulares, se aplican hoy en día universalmente a todos los sintetizadores y a muchos otros dispositivos de tratamiento del sonido.

LAS TRES CARACTERISTICAS DEL SONIDO

El sonido que oímos es una forma de vibración. Cuando el cono de un altavoz es puesto en movimiento con una señal alterna, se originan en el aire unas ondas de presión debidas a la compresión y rarefacción de sus moléculas. Si tales cambios de densidad se suceden a una velocidad comprendida entre 20 y 20.000 veces por segundo (y si existe asimismo una diferencia suficiente entre la presión mínima y máxima) dichas fluctuaciones se tornan audibles y reciben el nombre de ondas sonoras.

Todas las ondas sonoras pueden ser descritas en base a tres características claramente perceptibles por el oído humano; nos referimos al *tono, timbre* e *intensidad.*

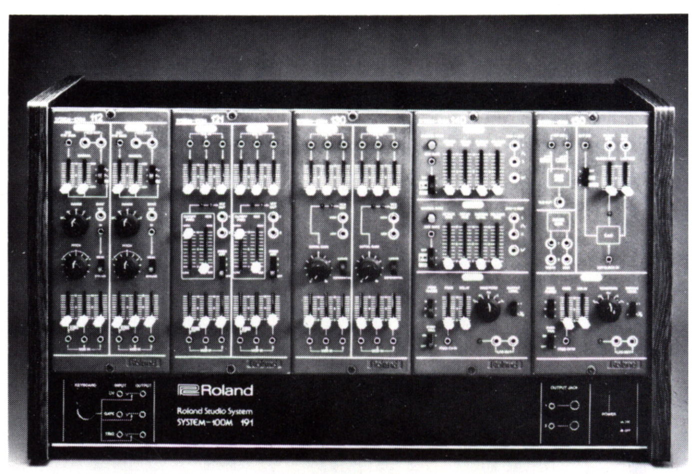


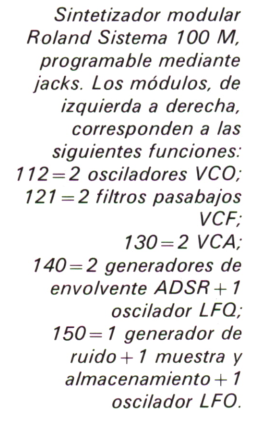
Este teclado de Casio, acoplado a un sintetizador, es capaz de emitir 100 sonidos, correspondientes a instrumentos o voces diferentes, y puede funcionar a pilas o adaptado a la red. (Cortesía: Adagio, S.A.).

El *tono* o *altura musical* de un sonido viene determinado por la rapidez con que se suceden los cambios de presión de la onda sonora. Un cono de altavoz que vibra con mucha rapidez producirá un tono alto o agudo, mientras que si vibra con más lentitud el tono percibido será más bajo o grave.

El *timbre* informa al oído de la forma en que cambian las ondas de presión con respecto al tiempo. Se trata de una cualidad subjetiva que permite al oyente distinguir cada instrumento entre el sonido de varios, aún si emiten notas del mismo tono e intensidad.

La *intensidad* del sonido obedece a la diferencia entre la compresión y rarefacción de sus ondas sonoras. Un altavoz cuyo cono se desplaza una elevada distancia hacia adelante y atrás, produce un sonido más intenso que cuando dicho desplazamiento es reducido.




Sintetizador modular Roland Sistema 100 M, programable mediante jacks. Los módulos, de izquierda a derecha, corresponden a las siguientes funciones: 112 = 2 osciladores VCO; 121 = 2 filtros pasabajos VCF; 130 = 2 VCA; 140 = 2 generadores de envolvente ADSR + 1 oscilador LFO; 150 = 1 generador de ruido + 1 muestra y almacenamiento + 1 oscilador LFO.

Un instrumento de música electrónico no genera sonido directamente, como es el caso de una cuerda de guitarra puesta en vibración, sino que fabrica señales eléctricas cuyas propiedades son análogas a las del sonido. Dichas señales, de modo similar al sonido, presentan tres características diferenciadas que reciben el nombre de *frecuencia, forma de onda* y *amplitud.*

Basándonos en las anteriores definiciones físicas del sonido, se puede establecer una simple relación entre las sensaciones sonoras y los parámetros puramente eléctricos que se manipulan en un órgano, sintetizador u otro

instrumento electrónico cualquiera. Así pues, una alteración de la *amplitud* de una señal eléctrica se traducirá en una variación de la *intensidad*, una modificación de la *forma de onda* conllevará una alteración del *timbre*, y los cambios de *frecuencia* implicarán variaciones de la *tonalidad* o *altura musical*.

PRINCIPIO BASICO DEL SINTETIZADOR Y ELEMENTOS CARACTERISTICOS

En el sintetizador de sonidos se dispone de medios extremadamente flexibles para controlar las características del sonido (frecuencia, forma de onda y amplitud) lo que se traduce en una gran capacidad de manipulación de éste.



Sintetizador programable afaptado sobre un sintetizador polifónico, que también admite una programación previa de ritmos. El conjunto proporciona una infinita variedad de expresiones sonoras siguiendo el dictado de los dedos. (Cortesía: Roland).

Está compuesto por una serie de bloques funcionales, básicos e independientes, denominados módulos, cada uno de los cuales tiene una misión bien definida que, de algún modo, puede ser comparada con las de ciertos mecanis-

mos empleados en los instrumentos convencionales. Haciendo un escueto análisis del piano acústico se pueden establecer algunos paralelismos interesantes en este sentido (figura 11 *a* y *b*).

La *generación sonora* de este instrumento tiene origen en la acción de percutir un grupo de tres cuerdas tensas por nota. Cada tecla acciona un sistema de palancas mecánicas

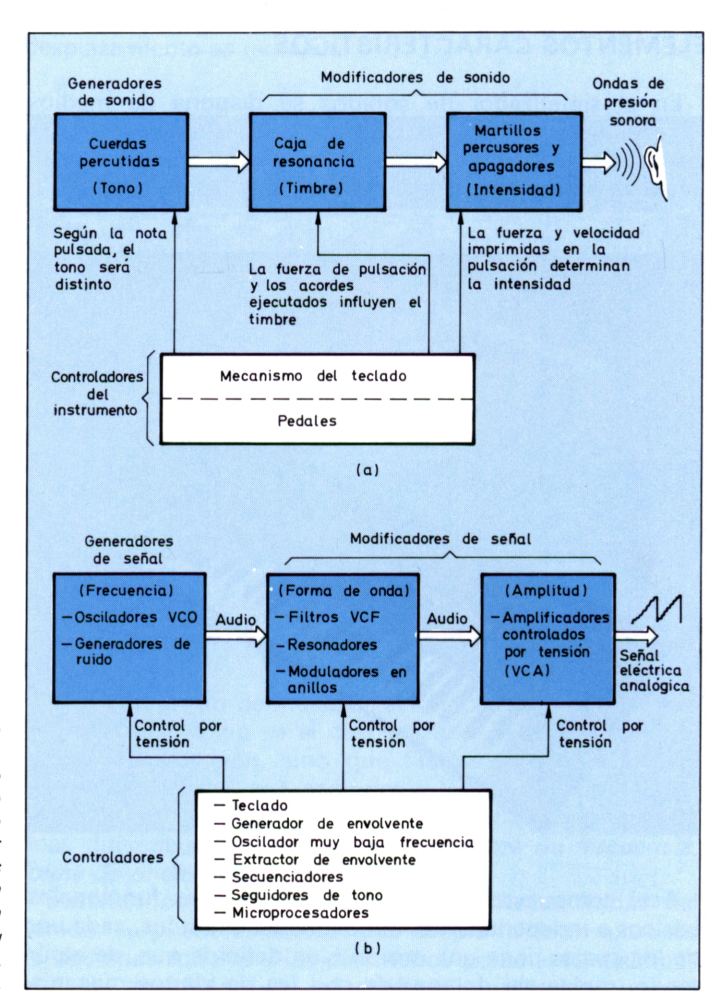


Figura 11. a) Relación entre elementos, mecanismos y técnica de ejecución sobre un piano y su papel en la generación sonora; b) Organización de los módulos de un sintetizador controlado por tensión según su función de generación, modificación y control.

cuyos movimientos culminan en la actuación de un martillo que golpea las cuerdas correspondientes, poniéndolas en vibración y dando origen al sonido. El ejecutante obtiene el tono musical deseado mediante el *control* que ejerce con las pulsaciones de sus dedos sobre el teclado. El pianista puede también ejercer un cierto grado de control sobre el timbre del instrumento y sobre la intensidad dinámica (amplitud instantánea de cada nota) regulando la fuerza y la velocidad que aplica en la pulsación de cada tecla. Puede, por tanto, *modificar* el carácter de cada una de las notas. Por añadidura los pedales del piano permiten actuar sobre la extinción o decaimiento de los sonidos y su amplitud.



La posibilidad de generar sonidos aprovechando la posibilidad de programación previa, permite resumir la práctica totalidad de la orquesta en un solo dispositivo como el JVC de la figura. (Cortesía: Adagio, S.A.).

En el sintetizador, figura 11*b*, los osciladores VCO *generan* formas de onda periódicas que hacen las veces de las cuerdas del piano. Los filtros VCF *modifican* la forma de onda (y por tanto el timbre) simulando los fenómenos resonantes que se dan en la instrumentación acústica. Los amplificadores controlados por tensión VCA, junto a los

generadores de envolvente, imitan o crean las variaciones dinámicas de la intensidad (amplitud) que en los instrumentos clásicos dependen de la naturaleza de éste (percusión, cuerda, metal, lengüeta) y de la propia técnica de ejecución (pinzado, rascado, percusión de cuerdas tensadas, etc.).

Como se desprende de la observación de la figura 11*b*, los módulos del sintetizador, en relación a su función, se dividen en tres grupos: *generadores de señal, modificadores* y *controladores.*

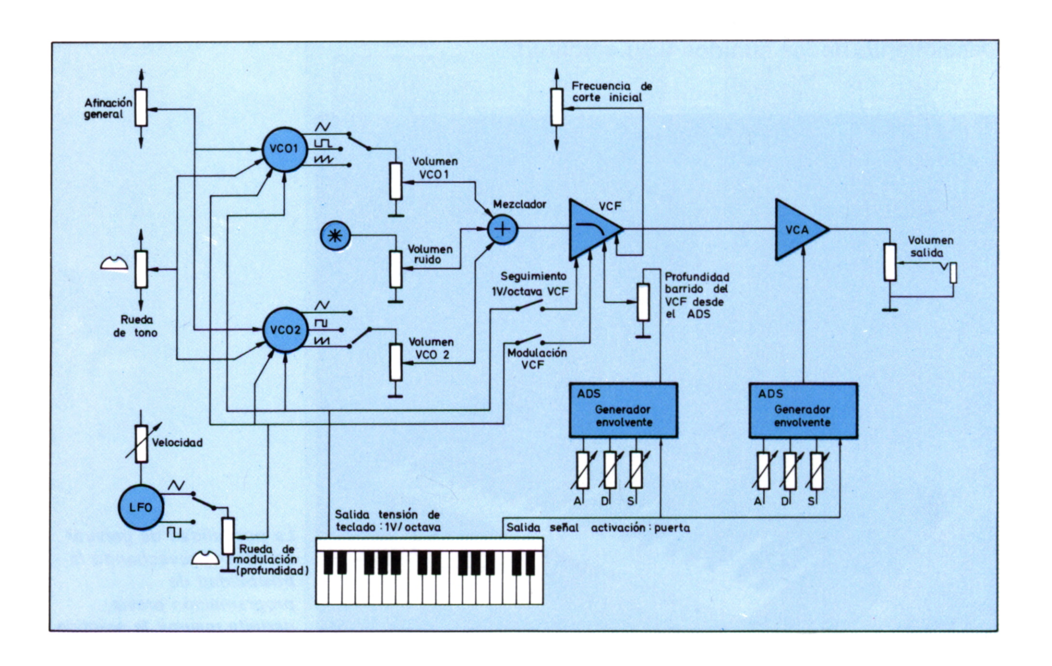


Figura 13. Relación típica existente entre los módulos de un sintetizador musical. Aunque se pueden dar muchas otras configuraciones, la mayoría de sintetizadores, incluso polifónicos, presentan esta organización tipo.

El grupo de módulos cuya misión básica es la de generar las señales audibles del proceso de síntesis sonora, comprende los llamados *osciladores controlados por tensión* (VCO) y los *generadores de ruido*. La importancia de los primeros es muy grande, ya que la mayoría de sonidos musicales precisan para su elaboración señales periódicas de frecuencia, amplitud y forma de onda definidas.

Una señal periódica —como se sabe— presenta una sucesión de valores instantáneos de tensión, idénticos ciclo

a ciclo, que por tanto suenan con un tono y timbre perfectamente definidos.

Los generadores de ruido, por el contrario, suministran señales desprovistas de un tono definido y no presentan ninguna constancia en la repetición de su forma de onda. El sonido de la lluvia, el viento, las explosiones, chorros de vapor y aun de muchos instrumentos de percusión, están despojados de periodicidad en su forma de onda. Se dice que son atonales. Obviamente, para recrear sintéticamente sonidos de esta naturaleza se recurre al empleo de los generadores de ruido como materia prima.

La modificación, procesado o tratamiento del sonido corre a cargo básicamente de un *filtro controlado por tensión*, que modifica en forma dinámica la estructura armónica de las



«Casiotone MT 500», que permite un sistema automático de acordes, 12.288 patrones rítmicos de acompañamiento y cuatro tonos independientes de percusión y batería, controlados independientemente. (Cortesía: Adagio, S.A.).

señales que pasan a través de él, y de un *amplificador controlado por tensión* (VCA) que, en unión de un generador de envolventes, imprime a las señales cualquier característica ataque-decaimiento que se desee.

El grupo de *controladores* está formado por una extensa familia de dispositivos muy especializados que generan tensiones continuas variables, las cuales se utilizan para gobernar parámetros de los módulos de generación de señal y tratamiento. Ello significa que la frecuencia de los VCO está en función de la suma de tensiones presentes en sus entradas de control. La frecuencia de corte del filtro VCF se determina también mediante otras tensiones y, de idéntico modo, la amplitud de cada nota se gobierna por tensión con el VCA.



Grabador de tonos miniatura, de tipo digital, MSQ 100, que se adapta a los instrumentos musicales de teclado. (Cortesía: Roland).

Como puede estimarse, las posibilidades que ofrece el concepto de control por tensión son prácticamente inagotables. El sonido generado por el sintetizador puede ser modulado en frecuencia, timbre y amplitud mediante tensiones, cuyas evoluciones y cadencias de repetición pueden determinarse de antemano, así como ser alteradas continuamente efectuando los oportunos ajustes en los controladores correspondientes. También puede ejercerse el control en «tándem» de muchos parámetros a la vez,

conectando una misma tensión de control a las entradas de gobierno de distintos osciladores, filtros y amplificadores controlables por tensión.

La mayoría de sintetizadores monofónicos comerciales son muy similares en sus conceptos básicos y difieren

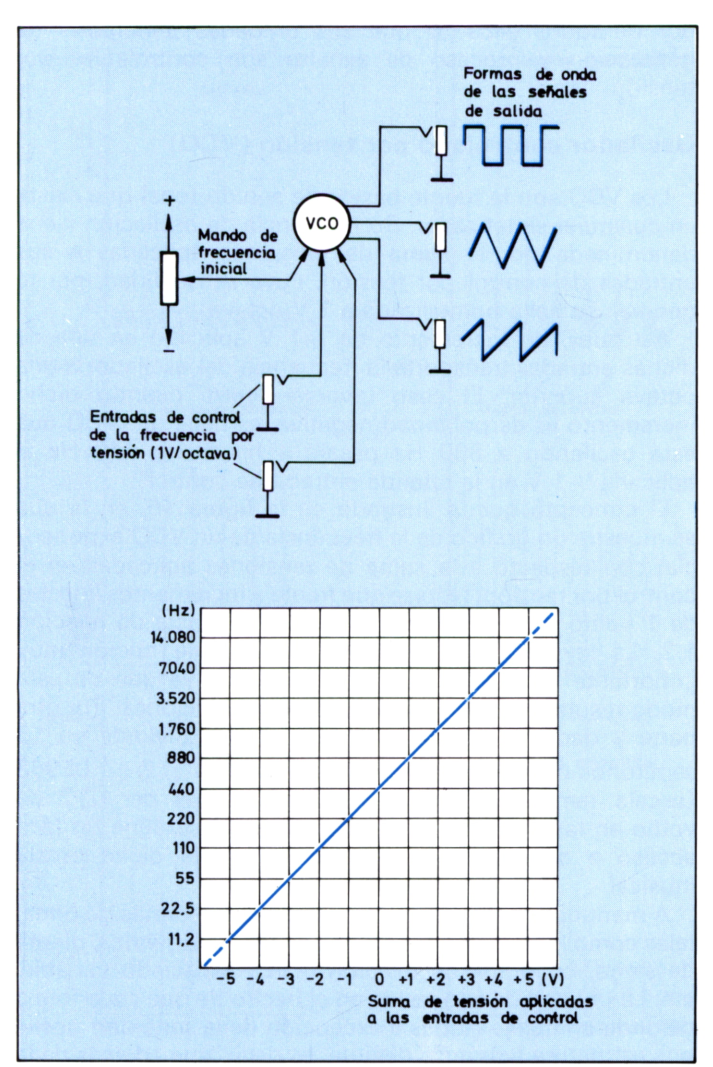


Figura 16. Símbolo de un VCO, y gráfico en el que se representa la característica de frecuencia con respecto a incrementos lineales de tensión aplicados a sus entradas.

solamente en algunos puntos secundarios, como son el método mecánico de programación o interconexión entre módulos (jacks, matrices de programación a base de pins, matrices deslizantes, e interruptores), el número de unidades de generación, tratamiento y control, y por los detalles exactos de sus características. El común denominador de todos ellos es que sus unidades principales de generación y proceso de señales son controlables por tensión.

Oscilador controlado por tensión (VCO)

Los VCO son la fuente básica de sonido tonal que existe en cualquier sintetizador. Su frecuencia de oscilación viene determinada por la suma de tensiones aplicadas a sus entradas de control por tensión, cuya sensibilidad, por lo general, se halla normalizada a 1 V/octava.

Así pues, un incremento de +1 V aplicado en una de dichas entradas transporta la frecuencia del oscilador a una octava superior. El caso inverso ocurre cuando dicho incremento es de polaridad negativa, es decir, un VCO que está oscilando a 880 Hz pasará a hacerlo a 440 Hz al aplicarle −1 V en la referida entrada de control.

El concepto queda ilustrado en la figura 16, en la que se muestra un gráfico de la frecuencia de un VCO exponencial con respecto a la suma de tensiones aplicadas en el control por tensión. Nótese que frente a incrementos lineales de 1 voltio se suceden cambios de frecuencia de relación 1:2. La ley de control exponencial es una noción muy importante en este tipo de instrumentos, ya que de este modo resulta muy simple efectuar transposiciones. Por otra parte y dado que la octava musical está dividida en 12 semitonos cuya relación de frecuencia es la $\sqrt[12]{2} = 1.05963$ (escala temperada), aplicando incrementos de 1/12 de voltio en las entradas de control del VCO se tiene un fácil acceso a cualquiera de los semitonos de dicha escala musical.

A menudo los VCO disponen de diversas formas de onda, tales como la senoidal, triangular, cuadrada simétrica, diente de sierra, cuadrada de relación marca-espaciado variable, etc. La utilidad de ello reside en el hecho de que cada forma de onda compleja (todas a excepción de la senoidal) posee una estructura armónica distinta, es decir, que además de la

frecuencia fundamental contienen numerosas otras señales cuyas frecuencias son a su vez múltiplos enteros de la fundamental. Tales múltiplos se denominan *armónicos*.

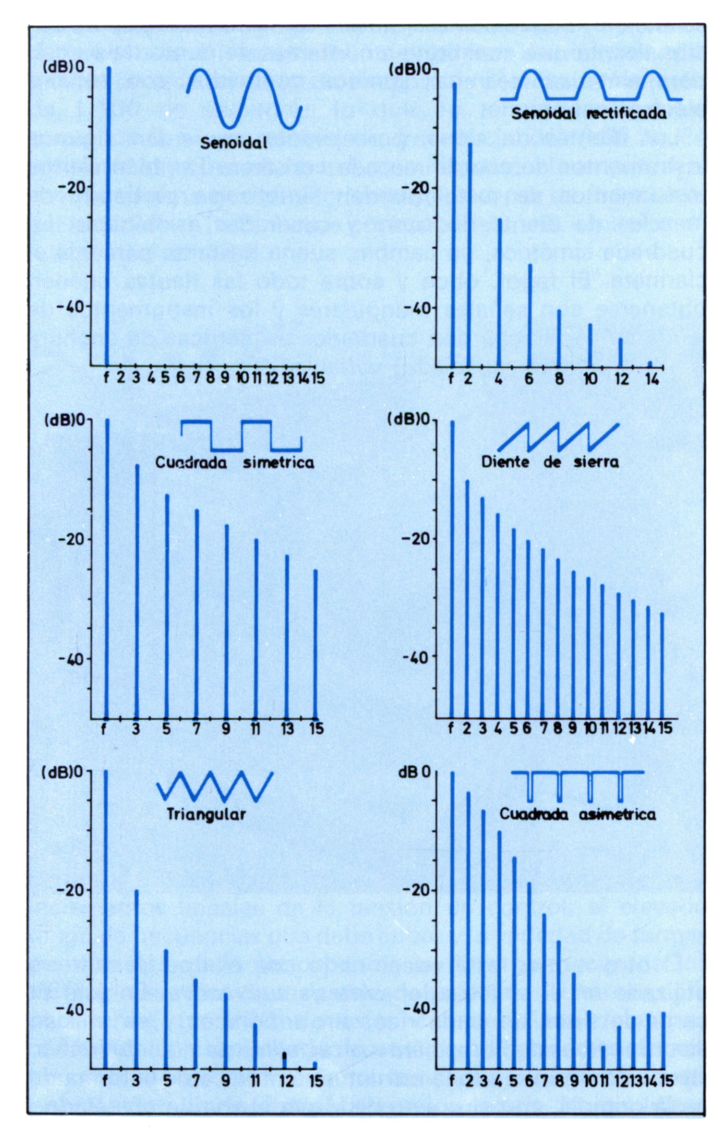


Figura 17. Estructura armónica, según análisis de Fourier, de seis formas de onda ampliamente utilizadas en instrumentos de música electrónica. El gráfico sólo muestra los 15 primeros armónicos aunque, en teoría, estos se extienden hasta el infinito.

Se emplea tal variedad de formas de onda por dos razones. Por una parte cada una de ellas, en razón de su particular distribución armónica, presenta un timbre distinto y claramente diferenciado de las otras. En muchos casos se asemejan notablemente al timbre de instrumentos convencionales, lo que constituye un interesante punto de partida para sintetizar e imitar sonidos conocidos con señales electrónicas.

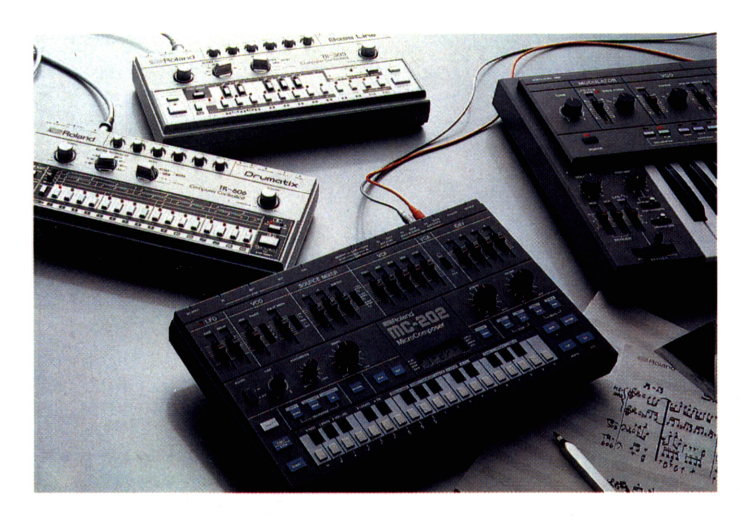
Los dientes de sierra, por ejemplo, recuerdan algunos instrumentos de cuerda rascada con arco. También ciertos instrumentos de metal pueden sintetizarse partiendo de mezclas de diente de sierra y cuadradas asimétricas. La cuadrada simétrica, en cambio, suena bastante parecida al clarinete. El fagot, oboe y sobre todo las flautas pueden obtenerse con señales triangulares y los instrumentos de lengüeta se recrean con cuadradas asimétricas de anchura (relación marca-espaciado) variable.



Sintonizador programable SBX 80, capaz de sincronizar otros dispositivos externos, de modo que todos ellos mantengan una coherencia en el tiempo. (Cortesía: Roland).

El otro motivo está relacionado con el tipo de síntesis utilizado en el sintetizador: *síntesis sustractiva*. En éste se parte de tipos de onda ricos en armónicos y se utilizan distintos tipos de filtros para realzar, eliminar y, en definitiva, alterar de algún modo la estructura armónica de la forma de onda original, con el objeto de lograr el sonido apetecido.

No hay duda de que los VCO constituyen el módulo más crítico de cualquier sintetizador. Pocas áreas del diseño para este tipo de instrumentos han recibido tanta atención por parte de diseñadores e investigadores. La razón de ello se debe a que el oído humano es muy sensible a las variaciones de frecuencia. Diversos experimentos han demostrado que incluso un oído no educado es capaz de detectar variaciones de 1/100 de semitono, lo que en términos absolutos corresponde a un cambio de frecuencia del 0,06 %. En contraste hay que señalar que, con respecto a la amplitud, el cambio mínimo que el oído humano es capaz de detectar es del orden de ±1 dB, lo que corresponde a una variación en la amplitud del 12 %.



Moderno sistema de composición musical utilizando las técnicas de los microcomputadores. (Cortesía: Roland).

La estabilidad de frecuencia a corto plazo, la precisión de la escala exponencial 1:2 a la que debe responder frente a incrementos lineales de la tensión de control, el elevado rango de frecuencias que debe cubrir y la variedad de formas de onda que debe ser capaz de suministrar, hacen de los VCO un elemento de muy elevada precisión. Hace tan sólo unos años, un VCO de estas características debía ser construido con un elevado número de componentes discretos. A modo de ilustración, el banco de 3 osciladores del popular sintetizador mini-Moog hace uso de 26 amplifica-

dores operacionales, 3 pares de amplificadores diferenciales estabilizados en temperatura por un circuito integrado termostático, 14 transistores discretos y alrededor de 300 componentes más entre resistencias de precisión, condensadores, diodos y potenciómetros de ajuste de precisión.

Actualmente varios fabricantes disponen de circuitos integrados LSI dedicados a la función del VCO. Dos de ellos son el SSM2030 de Solid State Micro Technology y el CEM3340 de Curtis Electronic Music.

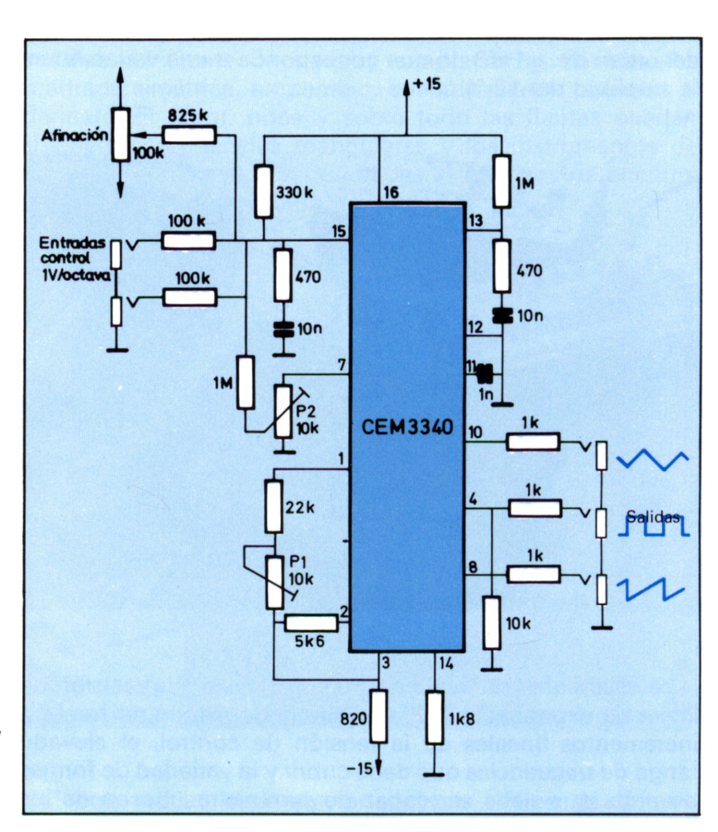


Figura 20. Esquema de aplicación práctica del VCO monolítico CEM 3340 para instrumentación musical.

En la figura 20 se muestra un circuito práctico de aplicación del VCO monolítico CEM3340. El potenciómetro ajustable P_1 debe ajustarse para obtener cambios de

frecuencia de 1 octava $\pm 0,1$ % para los incrementos/decrementos de 1 voltio $\pm 0,1$ % aplicados en la entrada de control. P_2 permite corregir los errores de seguimiento a frecuencias elevadas. La relación marca-espacio de la onda cuadrada puede modularse del 0 % al 100 % aplicando una tensión de control de $0 \div +5$ V en la patilla 5.

Generador de ruido

La característica que define al ruido es la de no tener una frecuencia determinada sino muchas a la vez. Si tomamos un receptor de radio en FM y lo sintonizamos entre dos emisoras oiremos un intenso soplido, muy parecido al ruido blanco.



Compositor de ritmos TR 707 de Roland, con diferentes sonidos básicos que pueden combinarse y programarse gracias a la capacidad de memoria y visualizarse en un display.

Visualizado en un osciloscopio, el ruido presenta constantes variaciones de frecuencia y amplitud, y dista mucho de la forma de onda perfectamente definida de una señal periódica. Técnicamente se dice que el ruido blanco está formado por un número infinito de señales cuyos niveles de energía son iguales para cada frecuencia. Por tanto, un ruido blanco, cuyo ancho de banda sea de 20 Hz a 20 kHz, estará compuesto de iguales cantidades de señales de todas las frecuencias comprendidas entre los límites referidos.

La denominación *ruido blanco* se le da por analogía con la luz; es conocido que mezclando aditivamente y en idénticas

proporciones luz roja, verde y azul, la resultante es una coloración blanca.

Cuando la energía de un ruido decae en amplitud −3 dB, a medida que aumenta la frecuencia, la denominación que toma es la de *ruido rosa.* Auditivamente, mientras que el *blanco* suena de un modo similar al ejemplo citado del receptor de FM, el *rosa* se manifiesta como un sonido menos brillante y con una mayor presencia de frecuencias en la zona grave (figura 22).

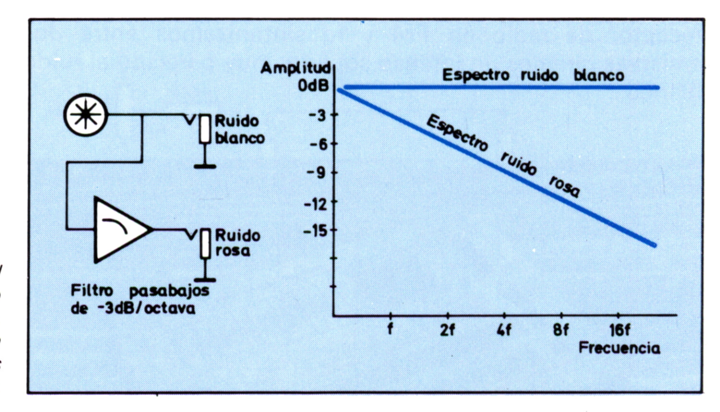


Figura 22. Símbolo del generador de ruido blanco y obtención del rosa. También se muestra la diferencia entre sus respectivos espectros.

Es interesante hacer notar que la producción sonora de muchos instrumentos acústicos convencionales está acompañada de ciertas cantidades de ruido, casi siempre localizado en bandas superiores a la cobertura tonal de éstos. El fagot, por ejemplo, cuyos armónicos más elevados se hallan alrededor de 5.000 Hz, emite a partir de esa frecuencia y hasta 15.000 Hz una pequeña cantidad de ruido. Algo similar ocurre con el violín que a consecuencia del rascado de las cuerdas con el arco produce una pequeña cuantía de ruido junto con la emisión de las notas.

Estas particularidades son, entre otras, las que otorgan a los instrumentos clásicos esa viveza y frescura característica del sonido acústico. En el sintetizador, el empleo de pequeñas cantidades de ruido filtrado mezcladas con el tono principal que generan los osciladores, ayuda en la síntesis electrónica de sonido a obtener un mayor realismo y a romper un poco la excesiva regularidad de las formas de

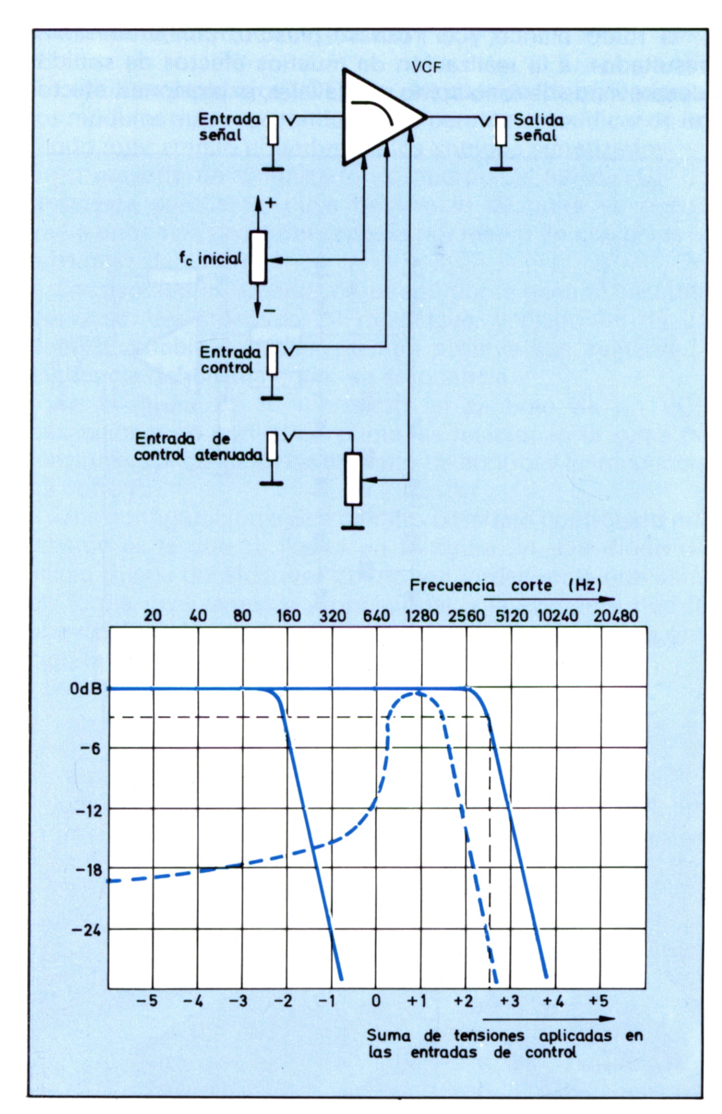


Figura 23. Símbolo de un filtro controlado por tensión VCF de respuesta pasabajo y gráfico demostrativo de la relación existente entre la tensión aplicada a sus entradas de control y su frecuencia de corte f_c. El trazo punteado representa la curva de respuesta cuando el VCF trabaja con un cierto grado de resonancia.

onda. En la práctica, si los sonidos sintéticos están producidos por señales muy uniformes, inducen en el oyente un sentido de monotonía y una rápida pérdida de interés por dicho sonido.

El ruido blanco y el rosa se prestan, con interesantes resultados, a la realización de muchos efectos de sonidos desprovistos de tono como vendavales, explosiones, efectos

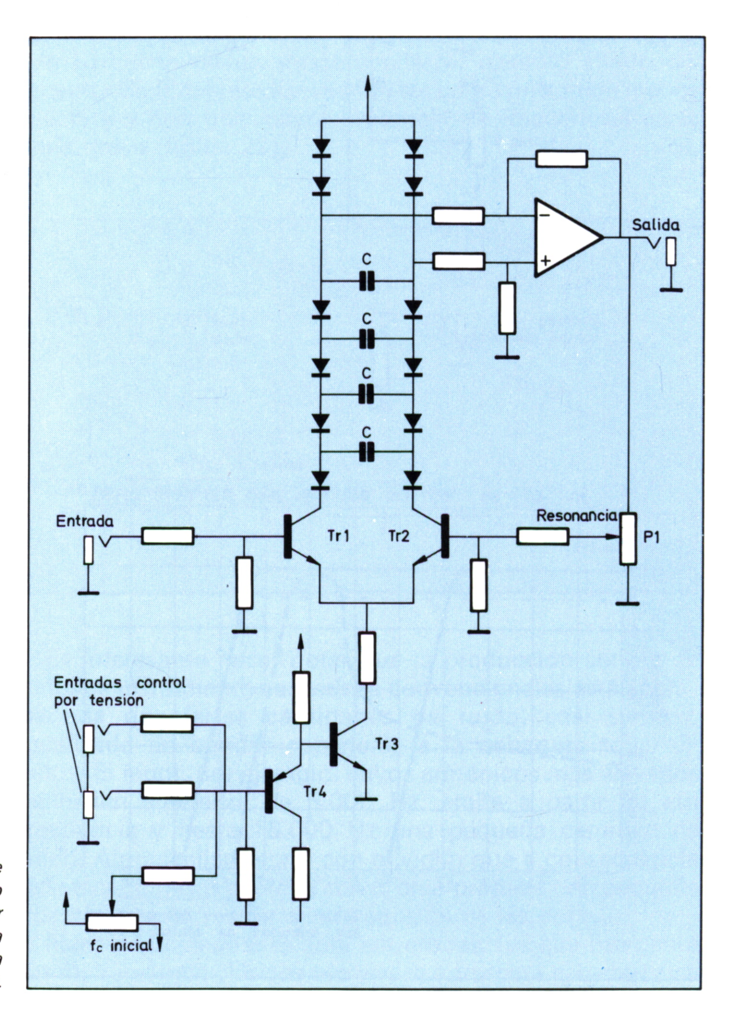


Figura 24. Esquema de principio de un filtro pasabajo controlado por tensión, según una configuración en escalera a base de diodos.

espaciales y también son particularmente útiles para sintetizar too tipo de efectos y sonidos de percusión, que cada día tienen más aceptación entre el público.

Filtro controlado por tensión (VCF)

Los filtros pasabajos VCF, son, después de los osciladores, los módulos más importantes, pues permiten modificar de un modo muy amplio el timbre de los sonidos sintetizados.

La mayoría de sintetizadores incorporan filtros VCF de respuesta pasabajos, cuya frecuencia de corte se puede variar entre una gama muy amplia por medio de una o varias tensiones de control.

Las pendientes de estos filtros son por lo general bastante abruptas, del orden de 24 dB/octava, y disponen de un control variable de realimentación positiva que aumenta la tendencia del filtro a entrar en resonancia.

En la figura 23 se representa el símbolo de un VCF pasabajos y un gráfico en el que se relacionan la suma de tensiones aplicadas en las entradas de control y la frecuencia de corte f_c.

Una configuración típica de filtro pasabajo controlado por tensión es la que se ilustra en la figura 24. Un diodo de silicio puede considerarse como una impedancia que varía en forma inversamente proporcional a la corriente que lo atraviesa según la relación 26/I, donde I es la corriente que circula a través del diodo en mA.



Obtener el sonido de un piano no presenta grandes dificultades para la electrónica actual; las series PIANO PLUS de Roland lo demuestran.

tipo en particular. La señal a procesar se inyecta simultáneamente en todas las entradas de los filtros y la salida de éstos puede combinarse a voluntad con un mezclador interno. Mezclando en distintas proporciones el nivel de salida de cada uno de los filtros se puede alterar de modo selectivo el espectro de cualquier señal compleja.

Se emplean para la simulación de los llamados *formantes*, que son bandas de frecuencia resonante provocadas por la caja de resonancia de los instrumentos acústicos. Los resonadores permiten ejercer un control muy sutil en las propiedades tímbricas de los sonidos sintetizados, haciéndolos aparecer mucho más reales.

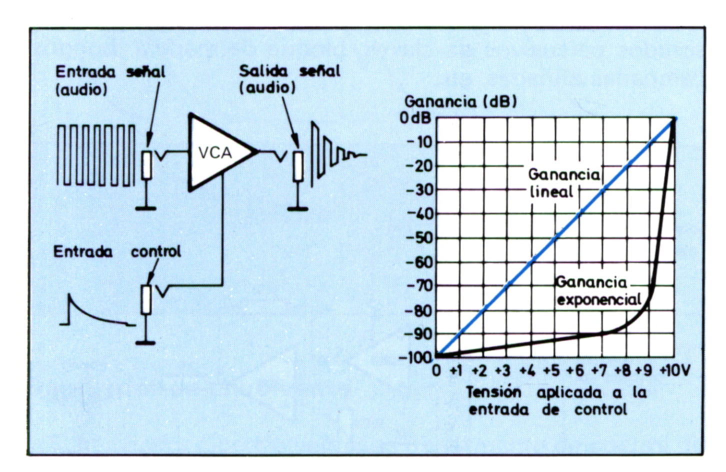


Figura 27. Símbolo de un VCA y gráfico típico de la relación existente entre la ganancia del mismo y la tensión de control.

Amplificador controlado por tensión (VCA)

Los VCA utilizados en el sintetizador tienen muchas aplicaciones en el procesado de las señales de audio, aunque su finalidad principal es la de modificar la característica amplitud-tiempo en asociación con un generador de envolventes. Dicho de otro modo, el VCA bloquea la señal de audio cuando el valor de la tensión de control es cero, pero cuando dicha tensión crece hacia un valor positivo, la ganancia del VCA aumenta y a su vez la amplitud de la señal de audio en su salida. Es lo que podría llamarse vulgarmente un control electrónico de volumen.

En la figura 27 se hallan representados el símbolo de un amplificador controlado por tensión y un gráfico de la relación existente entre la ganancia del dispositivo y la tensión aplicada a su entrada de control. Dicho gráfico muestra asimismo dos trazados denominados *ganancia lineal* y *ganancia exponencial.* Corrientemente sólo se utiliza la respuesta lineal para sintetizar la práctica totalidad de sonidos, aunque algunos sintetizadores muy elaborados (los modulares) incluyen la exponencial en sus VCA. El resultado de exponencializar la envolvente (tensión de control elaborada por el generador de envolventes) es la obtención de un evento sonoro cuya amplitud cambia más rápidamente con respecto al eje de tiempo. Auditivamente suena mucho más incisivo y resulta de vital importancia para sintetizar sonidos percusivos de claves, bloque de madera, bongós, campanas afinadas, etc.

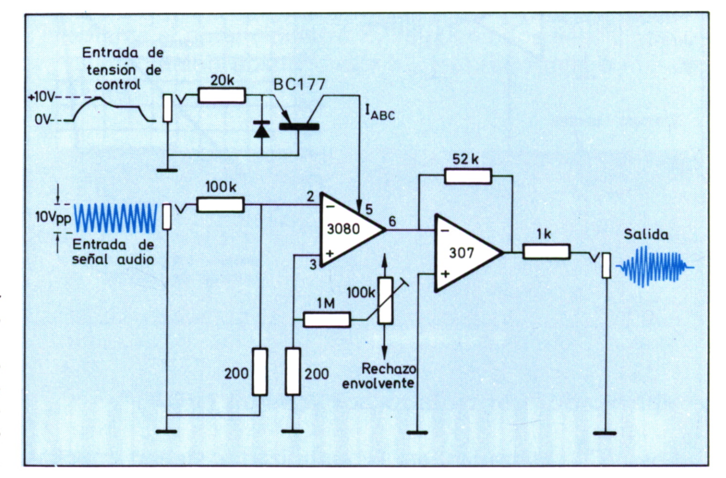


Figura 28. Amplificador controlado por tensión que emplea un OTA (amplificador de transconductancia variable) como elemento de control de la ganancia.

En la figura 28 se ha representado el esquema práctico de un VCA sencillo cuya ganancia puede controlarse de modo lineal respecto de la tensión de control. Se trata de un amplificador inversor (307) cuya resistencia de entrada ha sido sustituida por un amplificador OTA de transconductancia variable. Para simplificar diremos que un OTA se comporta como una resistencia controlada por corriente,

cuyo valor equivalente se determina mediante la corriente inyectada en la patilla 5 del CA3080. En este circuito el transistor BC177 y la resistencia de 20 kΩ constituyen el convertidor V/I encargado de transformar la tensión de control en una corriente I_{ABC} proporcional.

El potenciómetro señalado como «rechazo de envolvente» debe ser ajustado hasta obtener la mínima fuga de la tensión de control hacia la salida del VCA.

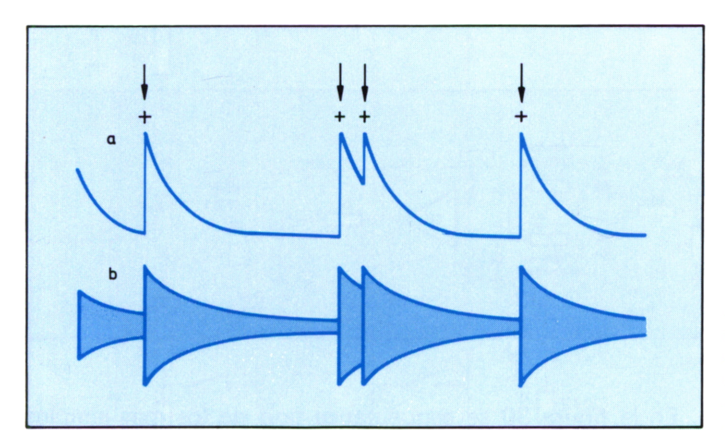


Figura 29. a) Envolvente del tipo denominado ataque / decaimiento, controlando la ganancia de un VCA, cuya señal de salida se aprecia en (b).

Generador de envolvente

El generador de envolventes es un elemento de control de gran importancia en la configuración de un sintetizador de sonidos. Fundamentalmente se utilizan para controlar la ganancia del VCA y para barrer la frecuencia del filtro VCF.

Asociado a un VCA, el generador de envolventes permite ajustar a voluntad la *intensidad dinámica* de las notas musicales, es decir, el tiempo que tardan en alcanzar todo su volumen al ser pulsada una tecla (tiempo de ataque), el nivel de sonoridad durante el intervalo de tiempo en que se mantiene apretada una nota (nivel de sostenimiento), y el tiempo necesario para que se extinga el sonido una vez soltada la tecla (tiempo de decaimiento) (figura 29).

Asociado a un filtro controlado por tensión, la tensión del generador de envolventes barre la frecuencia de corte del VCF, según la secuencia preestablecida en los tiempos de

ataque/decaimiento ajustados por el operador. Esta variación dinámica de la frecuencia del VCF imprime a los sonidos procesados una variación móvil del timbre, fenómeno éste que tiene lugar en la mayoría de instrumentos acústicos, particularmente en los instrumentos de cuerda y en los de viento.

Aunque existen distintos tipos de generador de envolvente todos realizan la misma función básica: producir una secuencia especializada de tensión cambiante, que se activa con cada pulsación de una tecla del sintetizador.

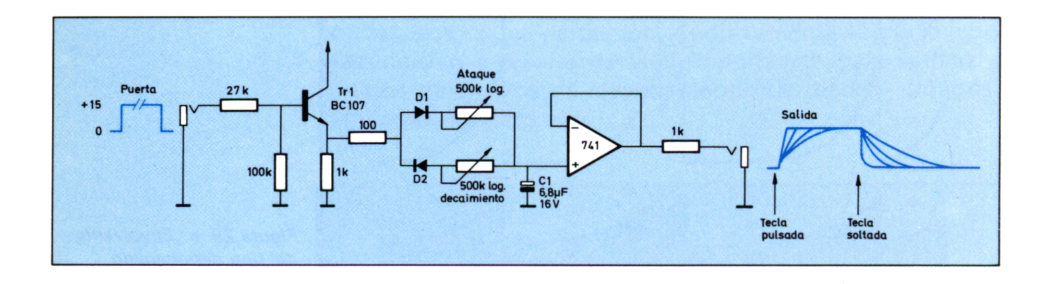


Figura 30. Circuito elemental de un generador de envolvente de tipo ataque / decaimiento.

En la figura 30 se esquematiza uno de los más simples posible. Se trata de un generador del tipo AD (ataque-decaimiento) que se activa con un escalón de tensión procedente del teclado, al que corrientemente se denomina *puerta* o *gate.* El transistor Tr_1 y los componentes asociados constituyen un seguidor de emisor y permiten la carga de C_1 partiendo de una fuente de tensión de baja impedancia. El tiempo de carga y descarga de C_1, como puede apreciarse, puede ajustarse individualmente gracias a los diferentes caminos que ofrecen los diodos D_1 y D_2 y los potenciómetros respectivos intercalados. El operacional 741 está configurado como un seguidor de tensión que hace posible la salida de la envolvente con una baja impedancia. Con los valores indicados, el tiempo de ataque y decaimiento puede regularse entre 10 ms y 5 segundos.

Teclado

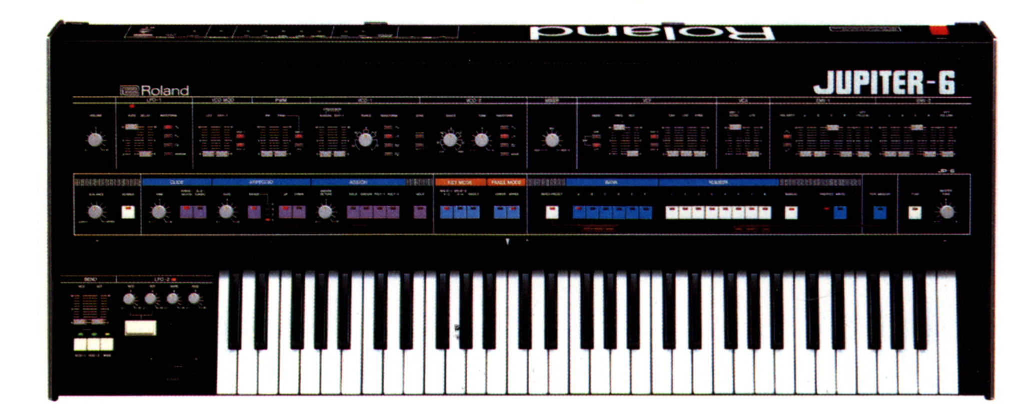
El teclado es el controlador más comúnmente utilizado en los sintetizadores. Básicamente genera dos tipos de informa-

La señal de audio está superpuesta a la corriente que fluye a través de la red de diodos. La escalera filtrante así formada termina en los transistores Tr_1 y Tr_2, que se hallan configurados como un amplificador diferencial. Las impedancias que representan las uniones PN de los diodos y las capacidades de los condensadores C, forman el filtro pasabajos de cuatro etapas de primer orden (6 dB/octava) conectadas en cascada, por lo cual la pendiente total será de 24 dB/octava.

La frecuencia de corte viene determinada por la fórmula $1/2\pi RC$. Si variamos R se altera dicha f_c y, como R está representada en el circuito por la impedancia de los diodos, la frecuencia de corte, con toda evidencia, dependerá de la corriente que los atraviesa. Dicha corriente variable se obtiene mediante el par de transistores Tr_4 y Tr_3, que no sólo constituyen una fuente de corriente variable sino que además proporcionan la característica exponencial de 1 V/octava.

Mediante el potenciómetro P_1 se puede dosificar el grado de realimentación positiva, que hace al filtro más o menos resonante.

Sintetizador polifónico «Júpiter-6», que utiliza los VCO para lograr un gran número de posibilidades musicales, aprovechando todo tipo de armónicos. (Cortesía: Roland).



Resonadores

También llamados *bancos de filtros fijos,* consisten en una serie de filtros pasabanda de frecuencia central fija y espaciados entre sí 1,1/2 ó 1/3 de octava, dependiendo del

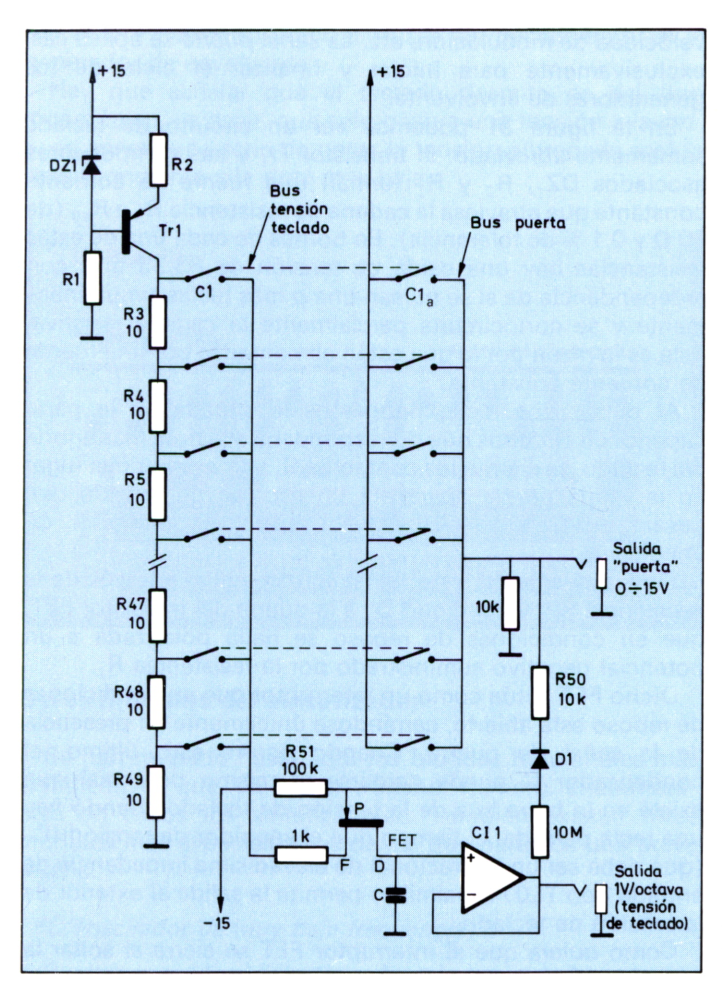


Figura 31. Circuito eléctrico del teclado del sintetizador.

ción distinta: la tensión denominada *de teclado,* que son incrementos lineales de 1 V para cada octava (83,33 mV para cada nota) y un escalón de tensión conocido como *puerta* o *gate*, cuya duración es igual a la del tiempo que se mantiene pulsada una tecla.

La *tensión de teclado* se utiliza para controlar la frecuencia de los osciladores VCO y la del filtro VCF, si bien puede utilizarse también para controlar otros parámetros como la

velocidad de modulación, etc. La señal *puerta* se aplica casi exclusivamente para iniciar y finalizar el ciclo de los generadores de envolvente.

En la figura 31 podemos ver un circuito de teclado sumamente abreviado. El transistor Tr_1 y sus componentes asociados DZ_1, R_2 y R_1 forman una fuente de corriente constante que atraviesa la cadena de resistencia R_3 a R_{49} (de 10 Ω y 0,1 % de tolerancia). En bornes de cada una de estas resistencias hay una caída de tensión de 83,33 mV, con independencia de si se pulsan una o más teclas simultáneamente y se cortocircuita parcialmente la cadena resistiva. Esta es la razón por la que están alimentadas por una fuente de corriente constante.

Al pulsar una tecla, pongamos la situada en la parte superior de circuitos que correspondería a la nota más aguda del teclado, se cierran los contactos C_1 y C_1a; en primer lugar en la salida *puerta* aparecerá un escalón de tensión que pasará de 0 V a +15 V, activando el generador de envolvente.

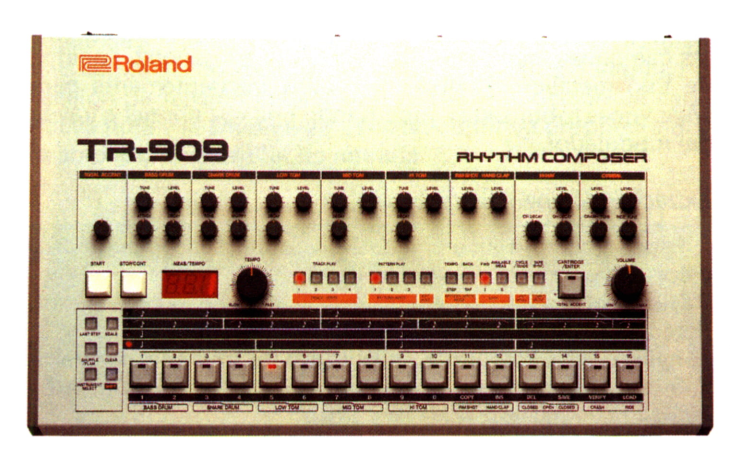
Simultáneamente, esta transición se aplica a través de la resistencia R_{50} y del diodo D_1 a la puerta del transistor FET, que en condiciones de reposo se halla polarizada a un potencial negativo suministrado por la resistencia R_1.

Dicho FET actúa como un interruptor que en condiciones de reposo está abierto, cerrándose únicamente en presencia de la señal de puerta. Cuando ocurre esto último, el condensador C puede cargarse al mismo potencial que existe en la barra bus de la tensión de teclado cuando hay una tecla pulsada, al tiempo que el seguidor de tensión IC_1 (que debe ser un operacional de elevadísima impedancia de entrada tipo TL071 o similar) permite la salida al exterior de la tensión de teclado.

Como quiera que el interruptor FET se cierra al soltar la tecla, el potencial en bornes del condensador C queda retenido, quedando de este modo «memorizada» la tensión de teclado hasta que se pulse una nueva tecla. Este tipo de memoria analógica se conoce con la denominación *muestra* y *almacenamiento* y, obviamente, no puede retener una tensión sin derivas más allá de unos 50/60 segundos. La memoria en el circuito de teclado es imprescindible, puesto que, de no existir, la tensión de teclado desaparecería (o cambiaría) súbitamente tan pronto dejáramos de pulsar las teclas,modificándose con ello la frecuencia de los oscilado-

res VCO y haciendo inútil el ajuste del decaimiento en el generador de envolvente.

Hay que señalar que el teclado descrito es del tipo monofónico, es decir, que sólo genera una tensión a la vez. Si se aprieta una serie de notas la tensión entregada será la correspondiente a la nota más baja.



Compositor de ritmos «TR 909 de Roland». La composición es rápida y puede escucharse cuando se desee, lo que permite introducir los cambios oportunos que requiera la melodía.

Otros módulos del sintetizador

Se han revisado hasta aquí los bloques funcionales más significativos que, en mayor o menor número, encontraremos en todos los sintetizadores. También existen otros módulos más especializados de los que haremos una breve reseña.

LFO (oscilador de muy baja frecuencia)

Por lo general los LFO sólo cubren la gama de frecuencias comprendida entre 0,1 y 30 Hz, y disponen de varias formas de onda como la triangular, cuadrada, diente de sierra ascendente y diente de sierra descendente. Se utilizan como señal de control para modular la frecuencia de los VCO (obteniéndose diversos tipos de vibrato, trino y barrido), la frecuencia del filtro VCF (lo que se conoce como modulación de timbre) y para modificar la ganancia del VCA de modo periódico, lo que conduce a numerosas variaciones del efecto *tremolo* o modulación de amplitud.

Modulador en anillo o balanceado

Dispone de dos entradas de señal, denominadas *portadora* y *moduladora,* y una salida en la que se obtiene la suma y la diferencia de frecuencia entre las citadas señales de entrada. Cuando éstas son formas de onda compleja el sonido resultante es muy inarmónico y disonante. Se emplean para imitar los caracteres vibratorios complejos de las campanas, carillones, cascabeles y, en general, sonidos de tipo metálico. También se utiliza frecuentemente para crear voces robotizadas, procesando una voz normal a través del modulador.

Extractor de envolvente

Esta unidad produce una tensión continua proporcional al valor instantáneo de amplitud de una señal de audio. Básicamente, consiste en un rectificador de precisión que detecta la amplitud de la señal alterna de entrada y la convierte en continua, y se utiliza para imprimir control a sonidos generados electrónicamente desde instrumentos acústicos convencionales.

Seguidor de tono

Este tipo de controlador especializado representa uno de los más refinados dispositivos que la ingeniería electrónica ha puesto en manos del músico.

En esencia se trata de una especie de interfase capaz de unir la instrumentación convencional con los avanzados instrumentos de música electrónica; un cantante, guitarrista, o incluso un instrumentista de viento o metal puede gobernar «en tándem», por medio de su propio instrumento, la línea melódica del sonido generado por un sintetizador.

Técnicamente, la función que realiza un seguidor de tono es la de analizar la frecuencia fundamental del sonido de un instrumento (que es la que define la altura tonal) y convertirla de un modo preciso en una tensión proporcional. Dicha tensión, por lo general, está normalizada al estándar de 1 V/octava, lo que en el caso del seguidor de tono significa que cuando el instrumento conectado a su entrada transponga el tono a una octava superior o inferior, la tensión de salida del controlador referido sufrirá una variación de ± 1 voltio.

Dicha tensión de control, inyectada por ejemplo en la entrada de control de 1 V/octava de uno o varios osciladores VCO, permitirá que su tono siga al unísono (o a cualquier otro intervalo musical para el que hayan sido afinados) las evoluciones melódicas que el músico ejecute desde su propio instrumento o voz.

Las salidas típicas que presenta este tipo de controlador son la de 1 V/octava, resultado de la conversión de tono en tensión, la salida de *disparo*, consistente en un impulso o escalón de tensión coincidente con la producción de cada nueva nota y la *envolvente*, tensión continua proporcional a la amplitud de la señal de entrada.

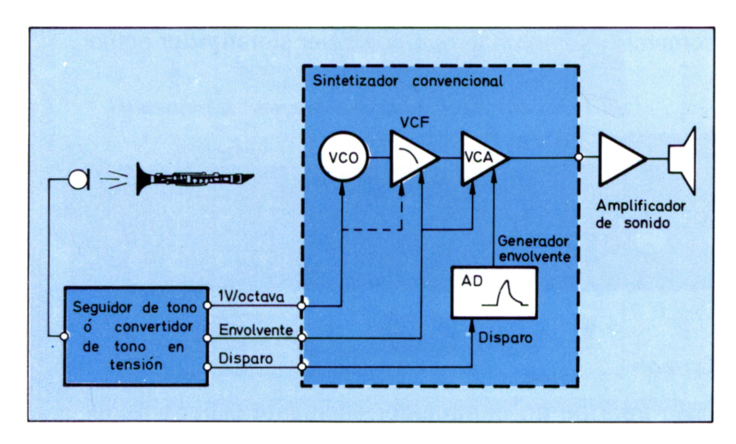


Figura 33. Conexión de un seguidor de tono de un sintetizador convencional. El seguidor o convertidor de tono en tensión permite tocar un sintetizador desde otros instrumentos.

En la figura 33 se muestra una posible forma de conexionado de un seguidor de tono a un sintetizador convencional controlado por tensión. Obviamente, existen muchas otras formas posibles de conexionado, ya que la versatilidad de las unidades comerciales es mucho más amplia que la que presenta el sistema básico descrito.

En ella se aprecia que la salida 1 V/octava gobierna directamente la entrada de control de frecuencia del VCO. De tal modo el oscilador «seguirá» en armonía paralela las escalas musicales ejecutadas con el clariente. El filtro VCF puede asimismo ser conectado a la salida 1 V/octava (lo que permitirá obtener un timbre constante a lo largo de toda la escala musical que cubra el instrumento), o bien su

frecuencia de corte puede variarse dinámicamente con ayuda de la envolvente natural del instrumento. Esta segunda opción ofrece la interesante particularidad de que el timbre final del sonido sintetizado presenta una variación sincrónica con la emisión de cada nueva nota desde el clarinete, además de sonar más brillante y rico en los pasajes *forte* y *fortissimo* que en los *piano*, que resultarán más dulces y suaves tímbricamente. La característica *ataque/decaimiento* se imprime con ayuda del VCA, que puede controlarse con la envolvente natural del clarinete o mediante una envolvente sintética producida por el *generador de envolvente*, que en la configuración que nos ocupa se activa cada vez que el clarinete emite una nueva nota.

La figura 34 ilustra el aspecto de un seguidor de tono comercial, compatible con cualquier sintetizador actual.

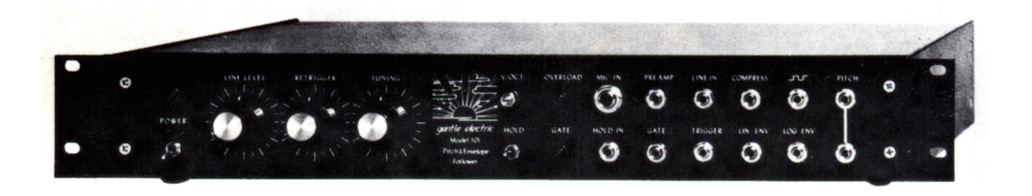


Figura 34. Seguidor de tono fabricado por Gentle Electric.

Lyricon

Se trata de un controlador altamente especializado que permite al músico formado en la técnica de ejecución de los instrumentos de viento, poder acceder al medio electrónico con un mínimo de adaptación, respetando por otra parte las mismas sutilezas de expresión y estilo aprendidas con la instrumentación tradicional. Hay que señalar que el grado de control y expresión musical con que es capaz de responder el *lyricon* no puede duplicarse con los teclados existentes en la mayoría de casos.

Consiste en un elemento de control cuyas llaves adoptan un aspecto y posicionado en todo similares a los de un saxo soprano. Dicho controlador está unido al panel de control mediante un cable y la circuitería asociada a dicho panel proporciona tres tensiones de control: La *presión de viento*, que es una tensión continua cuya magnitud es proporcional a la presión de aire con la que el músico sopla por la boquilla.

La tensión definida como *movimiento del labio,* que es proporcional a la presión que el ejecutante ejerce con sus labios en la caña del instrumento. La tensión proporcional al *tono* está directamente relacionada con la pulsación sobre las llaves de selección de la nota.



Grabador-generador de notas (hasta 6.500) en 8 memorias, mediante teclado, aprovechando las diferentes posibilidades que puede adoptar cada pulsador o interruptor. (Cortesía: Roland).

En una configuración típica, la tensión *tono* determina la frecuencia de los VCO, la tensión *viento* gobierna la ganancia del VCA y la frecuencia de corte del VCF, y la tensión *labio* puede utilizarse para determinar otros parámetros del sonido como las inflexiones de tonalidad, profundidad de vibrato, etc.

Secuenciadores

Son dispositivos capaces de memorizar, por medios analógicos o digitales, una serie más o menos larga de notas y sus correspondientes figuras rítmicas (métrica).

Existe una amplia variedad de secuenciadores en el mercado, cuya capacidad de almacenamiento va desde las 24 notas (como el Korg SQ-10 analógico) hasta 5.200 × 8 (Microcomposer Roland MC-8).

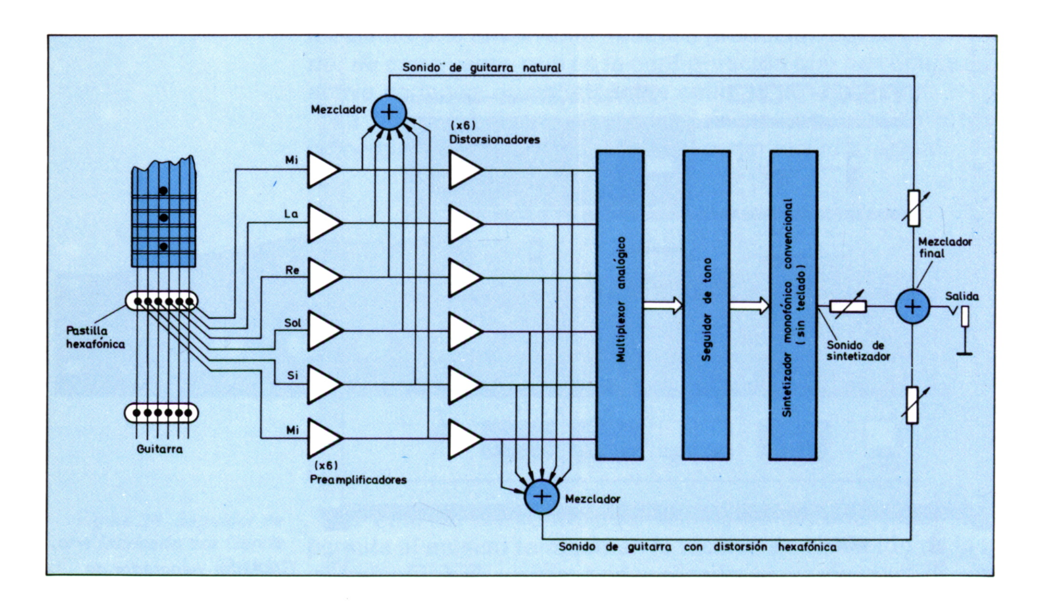


Figura 36. Esquema de bloques de un sintetizador de guitarra monofónico.

OTROS INSTRUMENTOS ELECTRONICOS

Tras la aparición del sintetizador controlado por tensión han sido desarrollados otros instrumentos musicales derivados, directa o indirectamente, del sistema propuesto por Moog en los años sesenta. Con las últimas generaciones de instrumentos la escena musical se ha visto notablemente enriquecida. Actualmente, el medio electrónico ha dejado de ser patrimonio casi exclusivo de los teclistas para convertirse en un auxiliar de trabajo para guitarristas, percusionistas y demás disciplinas musicales. He aquí algunos de estos instrumentos.

Guitarras-sintetizador

Una guitarra-sintetizador funciona casi igual que un sintetizador monofónico, la principal diferencia estriba en que no se toca desde un teclado sino desde una guitarra en la que se haya instalado previamente una pastilla hexafónica. Hay que señalar que existen algunas variantes funcionales de este tipo de instrumento y que el que se refiere a continuación es una de ellas.

En la figura 36 se ilustra a modo de bloques los elementos que típicamente pueden intervenir en un aparato de estas características.

La *pastilla hexafónica* es un captador séxtuple, es decir, son seis pastillas independientes entre sí, montadas en una sola pieza y que sirven para recoger separadamente la vibración de cada una de las cuerdas de la guitarra. La señal entregada por cada pastilla se introduce en sendos preamplificadores, cuya ganancia puede ajustarse individualmente con objeto de corregir las posibles diferencias de nivel de señal entre cuerdas. Las salidas de este grupo de preamplificadores se inyectan en otros tantos distorsionadores y, a la vez, se suman en un mezclador destinado a tal efecto, el cual proporciona una señal que constituye el *sonido de guitarra* natural que posteriormente puede mezclarse a voluntad con el sonido sintético.



Sintetizador y controlador de guitarra programable, provisto de 64 memorias. (Cortesía: Roland).

Las salidas de los seis distorsionadores, además de dirigirse hacia el *multiplexador analógico*, también se suman con ayuda de un segundo mezclador cuya salida proporciona el sonido de guitarra con *distorsión hexafónica*. Dado que el sonido de cada cuerda es sometido por separado al efecto de distorsión y que luego se combina en una sola, la distorsión hexafónica permite la ejecución de acordes de una gran riqueza tímbrica y con una absoluta limpieza de sonido.



Uno de los primeros sintetizadores de guitarra que hicieron su aparición en el mercado es el modelo ARP Avatar.

El multiplexor analógico recibe las seis señales de los distorsionadores y las selecciona para enviarlas al seguidor de tono, dando siempre vía libre hacia este último a la señal de la última cuerda que se ha tocado. También actúa como discriminador de señales cuando se tocan dos o más cuerdas a la vez, seleccionando automáticamente la señal de mayor amplitud o de acuerdo a una prioridad de cuerdas escogida por el músico sobre el instrumento.

El *seguidor de tono* convierte la altura tonal de cada nota ejecutada en una tensión proporcional y adecuada, para que el sintetizador monofónico siga al unísono con el guitarrista las escalas musicales desarrolladas por el artista. El

sintetizador monofónico que se integra en el sintetizador de guitarra es esencialmente idéntico a los modelos con teclado, y su configuración incluye los clásicos VCO, VCF y VCA para la generación del sonido sintético.



Batería electrónica «Simmons». Consta de seis parches hexagonales, en donde se hallan instalados los sensores, y seis sintetizadores especializados, contenidos en la unidad de control, que recrean el sonido de bombo, caja y tres timbales: agudo, medio y grave.

Sintetizador de percusión

Como puede deducirse, son instrumentos especializados en la síntesis electrónica de sonidos percusivos. La ventaja de éstos sobre la percusión acústica convencional estriba en

la facilidad que tiene el músico para acceder a una amplia variedad de timbres, efectos y sonoridades, difícilmente alcanzables con la instrumentación tradicional.

Una segunda ventaja nada despreciable de la percusión sintética reside en el hecho de no precisar micrófonos para recoger su sonido, pues lo entregan en forma de señal electrónica.

Ello simplifica considerablemente la sonorización en directo ya que se eliminan micrófonos, pies de micrófono, cables, además de ocupar un menor número de canales en la mesa de mezclas y eliminar de raíz el problema de los acoplamientos acústicos.



Programador de ritmos para guitarra eléctrica, de tipo gráfico. Incluye las opciones más frecuentes en los acompañamientos de percusión. (Cortesía: Boss).

Sintetizador de cuerda

El mundillo musical los conoce por el nombbre de *strings* y son sintetizadores polifónicos, especialmente diseñados para imitar (algunos con bastante fortuna) el sonido de secciones enteras de violines y violoncellos. Algunos modelos comerciales pueden reproducir también secciones completas de metal.

El efecto de multiplicidad instrumental de estos sintetizadores se logra mediante elaborados circuitos productores de efectos corales.

Pedales de efectos

Existe toda una familia de dispositivos electrónicos para modificar el sonido en alguna de sus características, a los cuales se conoce popularmente por el apelativo de *pedales de efecto*. Los músicos actuales hacen uso extensivo de estas pequeñas cajitas para enriquecer, cambiar y obtener mil matices sonoros durante la ejecución. A continuación se ofrece una descripción de los más corrientes.

Distorsionadores

Uno de los fenómenos que los guitarristas eléctricos vienen aprovechando desde los mismos inicios de la música rock es el de la distorsión armónica engendrada por los propios amplificadores del instrumento. Hacer incurrir en distorsión un amplificador de válvulas con la señal de una guitarra eléctrica revierte en una prolongación subjetiva de la duración de las notas, así como en un aumento de la sonoridad aparente a causa del mayor contenido armónico obtenido por la distorsión deliberada.



Conjunto de varios pedales de efectos. Se los muestra dentro de la caja de seis unidades, para facilitar su transporte. (Cortesía: Boss).

El efecto se utiliza fundamentalmente en los punteos (fraseos de notas únicas), momento en que el sonido resultante es realmente efectivo. Sin embargo, al ser ejecutado un acorde bajo condiciones de fuerte distorsión,

el sonido originado se torna confuso y desagradable debido a la llamada *distorsión de intermodulación,* ocasionada por interferencias de suma y resta entre las frecuencias fundamentales de las notas ejecutadas y los armónicos que proporcionan las cuerdas vibrantes. Los componentes de frecuencia originados por la intermodulación no siempre guardan una relación matemática entera ni armónica y, por tal motivo, en la práctica tocar acordes con un distorsionador produce cualquier cosa menos un sonido limpio y agradable, aunque sobre gustos no se ha dicho aún la última palabra.

La técnica para hacer entrar en distorsión un amplificador a válvulas consiste, principalmente, en aplicar a su entrada de señal un nivel mucho mayor del estrictamente necesario para que desarrolle su potencia nominal. Actualmente, y dado que los equipos de amplificación transistorizados han desplazado casi por completo a los de válvulas, ha sido preciso simular por otros medios los efectos del aumento controlado de la distorsión armónica.

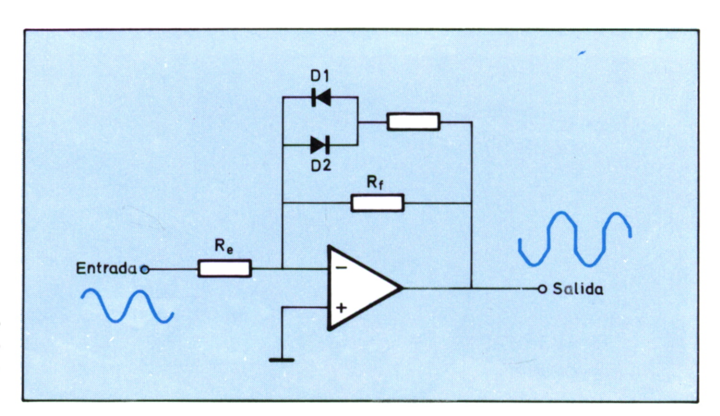


Figura 42. Esquema de principio de funcionamiento de un distorsionador.

En los pedales modernos de distorsión, generalmente se recurre a la utilización de un paso de amplificación con un elemento no-lineal en su lazo de realimentación negativa, tal y como aparece en la figura 42. En este circuito las señales de pequeña amplitud son amplificadas de modo lineal (sin distorsión alguna), con una ganancia en tensión que viene determinada por la clásica relación R_f/R_e del

montaje operacional de un amplificador inversor. Sin embargo, a medida que la amplitud de la señal de entrada aumenta y se superan en la salida las tensiones correspondientes a los codos de conducción de los diodos $D_1 - D_2$, aumenta la realimentación negativa y se obtiene una limitación gradual de la ganancia en tensión, aplanándose de forma suave las crestas positivas y negativas de la señal de audio. La misma figura se acompaña con la forma de onda aproximada, presente en la salida, para una señal senoidal de entrada.



Sintonizador cromático TU 12H de Boss. Este equipo puede trabajar con toda la gama de frecuencias generadas por los instrumentos musicales.

Nótese que los dos diodos están dispuestos en antiparalelo y que, aceptando que ambos poseen idénticas características, la distorsión obtenida será simétrica en ambos semiciclos, lo que significa que los armónicos resultantes serán de orden impar, es decir, que además de la fundamental f se generarán otras señales denominadas *armónicos*, cuyas frecuencias presentarán una relación tres veces mayor que f, y así $5f$, $7f$, $9f$, $11f$, $15f$.....nf.

Compresor

Por definición, un compresor de audio es un dispositivo que reduce el rango dinámico de una señal, es decir, la

diferencia de volumen entre sonidos fuertes y débiles. Al contrario de lo que ocurre en un paso de amplificación lineal, que entrega mayor señal de salida cuanto mayor es la entrada (se entiende que antes de llegar al descrestamiento), el compresor disminuye la ganancia a medida que aumenta el nivel de señal en su entrada.

El resultado práctico es que cualquier señal tratada con un compresor aparece en su salida con un volumen relativamente constante.

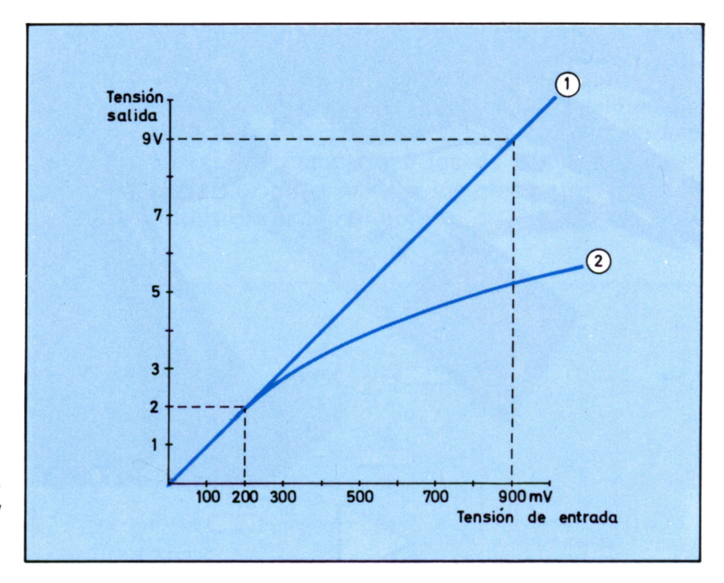


Figura 44. (1) Relación existente entre el nivel de señal de entrada y salida en un amplificador lineal; (2), comparación del resultado en un compresor.

El gráfico de la figura 44 muestra el comportamiento de un compresor en comparación con un amplificador lineal frente a distintos niveles de señal de entrada. El trazo 1 corresponde a un amplificador de ganancia 10; nótese que para una señal de entrada de 900 mV se obtiene 9 V en la salida.

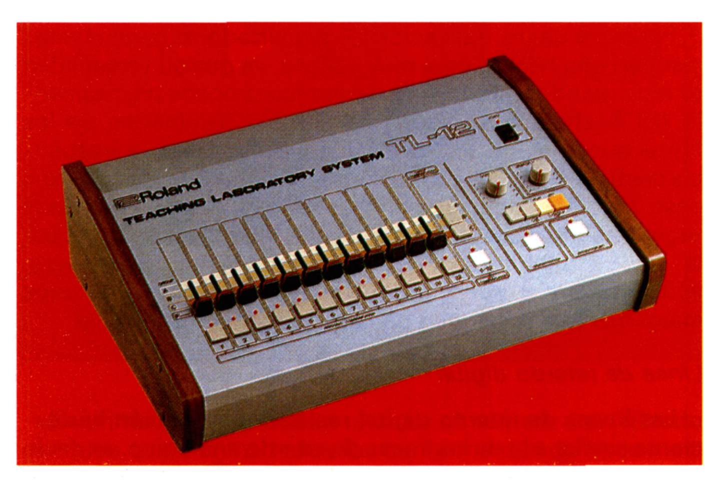
El trazo 2, en cambio, describe la relación entre la señal de entrada/salida en un compresor; obsérvese que hasta unos 200 mV de señal de entrada se comporta de modo lineal pero, a medida que aumenta ésta, el nivel de salida va reduciéndose proporcionalmente.

Procesadores de sonido avanzados

Armonizador

El principio funcional de esta unidad de efectos consiste en la transformación de una señal de audio (analógica) en una información digital, que se introduce en una memoria de acceso aleatorio (RAM) para volver a leer el contenido de ésta de inmediato, aunque a una velocidad distinta de la empleada para el direccionamiento de escritura. Obviamente, el contenido digital de la referida memoria se transforma nuevamente en una señal analógica durante la fase de lectura.

¿Qué resultado se obtiene direccionando la fase de lectura a mayor velocidad que la de escritura? Un sonido de características similares aunque con una entonación musical distinta del original, es decir, si la relación entre la velocidad de lectura y escritura es 2:1, el sonido resultante presentará una altura tonal de 1 octava mayor y si la relación fuera de 0.5:1, el tono obtenido con respecto del original sería 1 octava menor.



Con este equipo se facilita la enseñanza musical al interconectar el profesor con las diversas fuentes sonoras auxiliares y los diferentes alumnos que componen la clase.

Lógicamente, la altura tonal resultante depende de la velocidad a la que es leído el contenido de la memoria RAM, y por lo general los armonizadores actuales permiten la

transposición tonal de cualquier sonido a cualquier intervalo musical comprendido entre +1/−2 octavas.

El armonizador posibilita un enorme abanico de aplicaciones, tanto en actuaciones en directo como en el trabajo de estudio de grabación, y su sorprendente facilidad de manipulación de un material de audio queda ilustrada con otro ejemplo.

Imaginemos que durante las sesiones de mezcla de una grabación multipista se descubren errores de afinación en algunas voces o instrumentos registrados en sesiones pasadas, en lugar de repetir las tomas de sonio defectuosas (lo que puede coincidir con la ausencia del músico interesado) bastará con insertar el armonizador en el canal correspondiente y corregir la desafinación original, lo que puede lograrse con una precisión del 100 %.

Ecualizadores paramétricos

Los ecualizadores, en general, se utilizan para dos propósitos: primero para corregir problemas concretos que se dan en muchas actividades de sonorización, grabación, etc., y en segundo lugar para alterar el timbre de un instrumento musical por razones puramente creativas.

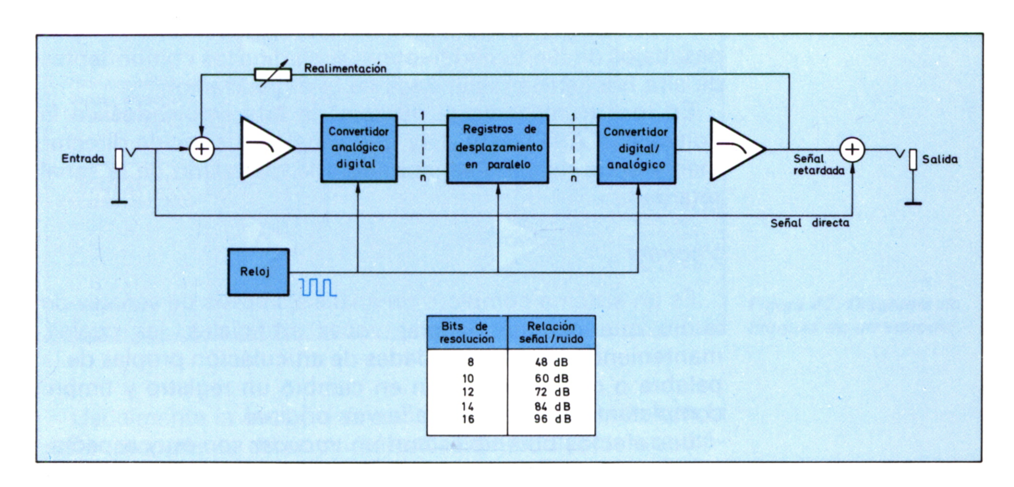
Para esta última aplicación los ecualizadores paramétricos resultan una herramienta muy valiosa, ya que su versatilidad es muy grande. El término *paramétrico* procede precisamente del hecho diferenciador de que los parámetros de los filtros que lo componen son variables. Así pues, la frecuencia central (o frecuencia de corte si se trata de un paso-alto o paso-bajo), el ancho de banda o factor Q (que determina el segmento de espectro —en octavas— que se ve afectado por la acción del filtro) y el factor de atenuación/refuerzo, acostumbran a ser continuamente variables con unos márgenes que dependen de cada modelo en particular.

Línea de retardo digital

Las líneas de retardo digital realizan una función básicamente similar a la de las líneas de retardo analógico, es decir, retrasan señales de audio durante una cantidad específica de tiempo. En un sistema de retardo que emplee tecnología digital, la entrada (señal analógica) es convertida en una serie de palabras digitales que son almacenadas en una memoria y retenidas un tiempo determinado. Transcurrido

éste, las palabras digitales vuelven a ser convertidas a su equivalente analógico y la señal retardada se mezcla con la señal directa.

Según el tiempo de retardo implicado y la forma en que se combina la señal directa con la retardada se pueden obtener numerosos efectos basados en el desplazamiento del eje de tiempo. Por ejemplo, mezclando señal directa con señal retardada de un modo variable entre 0,5 y 10 ms se obtiene el efecto *flanger.* El *doblado automático* o ADT se consigue con retardos fijos en la gama de los 10 a 50 ms. El efecto de *corus* se logra sumando señal directa con retardada, variando lentamente el tiempo de retardo entre los 20 y 70 ms. El ECO comienza a ser discernible con retardos fijos a partir de 100 ms, siendo ya muy notorio entre los 200 y 600 ms. Algunos modelos comerciales muy perfeccionados, con capacidad para retardar hasta 2 ó 3 segundos, permiten la repetición continuada de segmentos sonoros sin degradación alguna.



Bits de resolución	Relación señal/ruido
8	48 dB
10	60 dB
12	72 dB
14	84 dB
16	96 dB

Figura 46. Esquema de bloques de una línea de retardo digital.

En primer lugar la señal a retardar se somete a un filtrado enérgico que elimina todos los componentes de frecuencia por encima de un determinado punto de corte, usualmente entre 10 y 15 kHz. Su objeto es el de evitar problemas de intermodulación producidos por la interferencia de las señales de audio de frecuencia elevada con la frecuencia de reloj del sistema.

A continuación la señal analógica se transforma en sucesivas palabras digitales de *n* bits y se introduce cada una de ellas en la entrada de sendos registros de desplazamiento.

Dichos registros son capaces de memorizar un bit y desplazarlo de una sección a la siguiente a cada ciclo del reloj y a lo largo de 1.024 o más secciones (dependiendo de la longitud exacta del registro empleado y del número de ellos dispuestos en cascada). Lógicamente, el retardo obtenible será función del número de secciones del registro de desplazamiento y la frecuencia del reloj. Así pues, suponiendo que esta última es igual a 40 kHz y el número de secciones del registro 4.096, el retardo obtenido sería

$$\frac{1}{40.000} \times 4.096 = 0{,}1024 \text{ s} = 102{,}4 \text{ ms}$$

Tras la obtención de las palabras digitales retardadas, éstas son devueltas a su forma primitiva de señal analógica con un convertidor digital/analógico y un segundo filtro pasabajos de fuerte pendiente, que elimina los componentes de alta frecuencia resultantes de la digitalización.

En lo que respecta al número de bits empleados en la conversión A/D y D/A, hay que señalar que incide directamente en la relación señal/ruido y la distorsión de la señal retardada.

Vocoder

Es un sistema completo de análisis/síntesis de señales de audio que permite generar voces artificiales, las cuales, manteniendo las peculiaridades de articulación propias de la palabra o canto, presentan en cambio un registro y timbre completamente distinto de la voz original.

Los efectos obtenibles con un *vocoder* son muy espectaculares y su utilización no se ciñe únicamente a la escena de la música moderna. Numerosas emisoras de radio y TV de todo el mundo y los más diversos estudios de grabación vienen empleando este tipo de aparatos con muy diversas finalidades en cuanto a efectos vocales especiales.

Si bien existen en el mercado diversas firmas que comercializan unidades de este tipo cuyas características están bien diferenciadas, el mecanismo básico de todos los vocoders es el mismo. En la figura 47 se muestran las

funciones básicas que integran el *vocoder*, en ellas se distinguen dos secciones, una denominada de *análisis* y otra de *síntesis*.

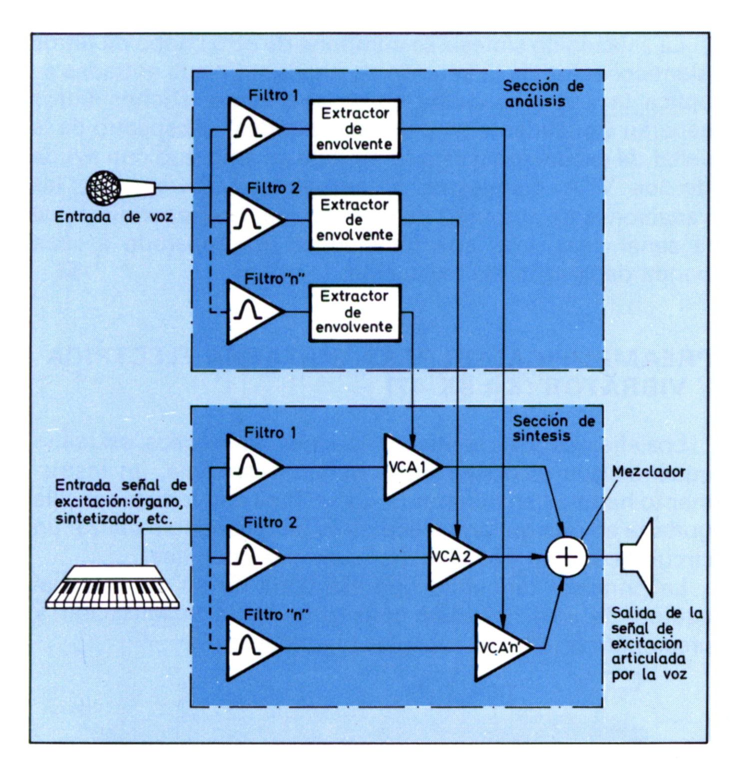


Figura 47. Diagrama de bloques de un vocoder.

Usualmente la sección de análisis está alimentada con la señal procedente de un micrófono. Esta se inyecta simultáneamente a una serie de filtros pasobanda cuyo número puede oscilar entre 10 y 22 y sus frecuencias centrales pueden estar espaciadas entre sí de 1/4 a 1/2 octava, dependiendo ambos factores de cada diseño en particular. En conjunto cubren la mayor parte del espectro de audio que interese a los sonidos vocales; por ejemplo, el vocoder Sennheiser VMS-201 posee 20 canales que cubren desde 100 hasta 8.000 Hz.

Las salidas del banco de filtros de análisis se introducen en

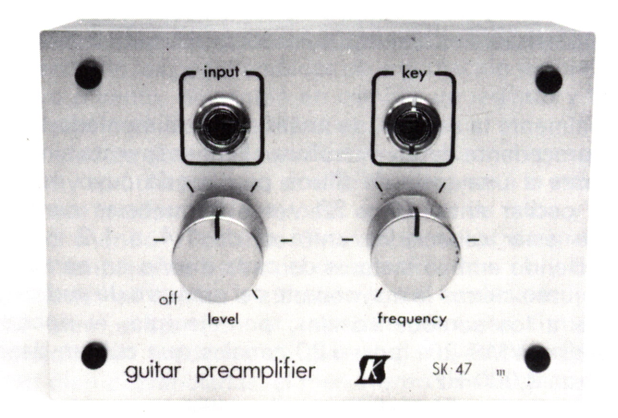
otros tantos extractores de envolvente, cuya función es la de proporcionar tensiones continuas de valor proporcional a la envolvente de cada banda de frecuencias. El conjunto de tensiones presentes en la salida de los extractores informa, por tanto, del contenido espectral de la voz.

La sección de síntesis se compone de otro banco de filtros idénticos a los de la sección de análisis. En sus entradas se aplica la señal conocida como *excitación.* Dichos filtros separan (igualmente en pequeñas bandas) el espectro de la señal de excitación y éste se modula en amplitud con ayuda de los VCA dispuestos a las salidas. Obviamente, las variaciones de amplitud de cada banda, correspondientes a la señal de la voz, son transferidas por separado a cada banda de la señal de excitación.

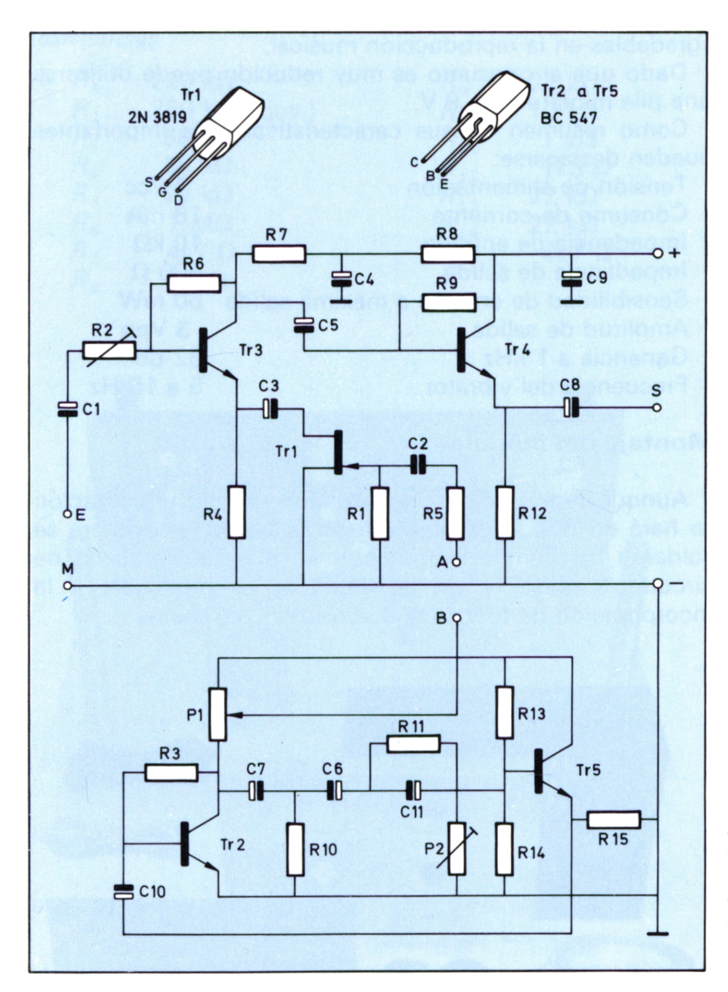
PREAMPLIFICADOR PARA GUITARRA ELECTRICA Y VIBRATOR (Kit SK-47)

Los aficionados a la música son muy numerosos, así como aquellos que disponen de la guitarra española, un instrumento habitual en muchos hogares. Para convertir la sencilla guitarra en una guitarra eléctrica es recomendable utilizar un circuito como el que se expone en estas páginas.

La principal dificultad que estribaría en su conexión al equipo de alta fidelidad consistiría en la ecualización y preamplificación con cápsulas magnéticas.



Aspecto que presenta la caja del preamplificador con vibrator para guitarra eléctrica del kit de montaje SK 47.



Esquema eléctrico del circuito preamplificador con vibrator para guitarra eléctrica. Incluye cuatro transistores bipolares y uno de tipo FET. (Kit SK-47).

A la entrada podrá conectarse directamente la cápsula o la guitarra, y a la salida el amplificador de alta fidelidad tipo monoaural y ecualizado para micrófono dinámico 500 Ω).

Esencialmente, el circuito consiste en un oscilador de muy baja frecuencia para producir el efecto *vibrator,* cuya profundidad de modulación y frecuencia podrán ser modificada a voluntad mediante sendos potenciómetros. La combinación establecida podrá dar lugar a efectos muy

agradables en la reproducción musical.

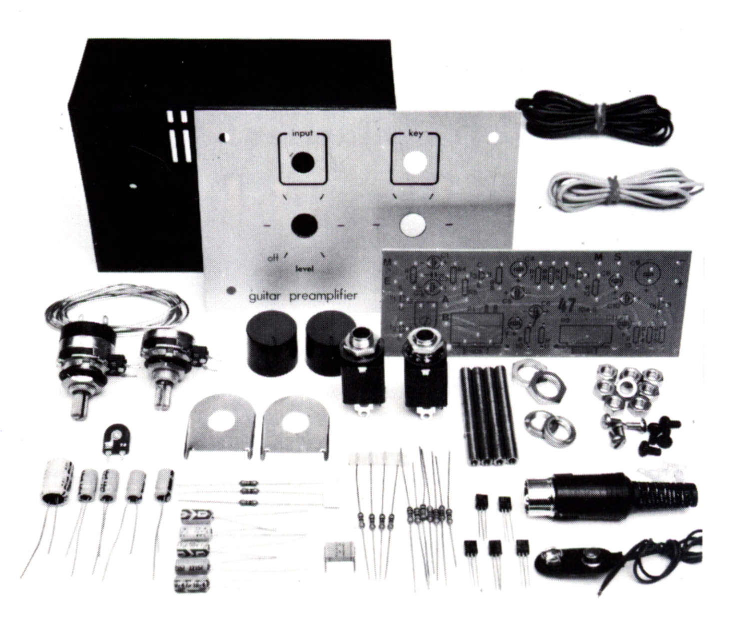
Dado que el consumo es muy reducido puede utilizarse una pila miniatura de 9 V.

Como resumen de sus características más importantes pueden destacarse:

Tensión de alimentación	9 Vcc
Consumo de corriente	18 mA
Impedancia de entrada	10 kΩ
Impedancia de salida	500 Ω
Sensibilidad de entrada a máxima salida	60 mW
Amplitud de salida	3 Vpp
Ganancia a 1 kHz	32 dB
Frecuencia del vibrator	5 a 15 Hz

Montaje del módulo

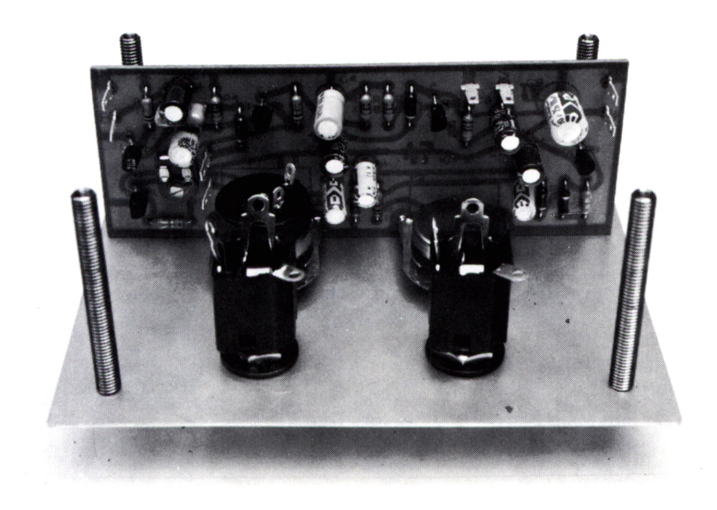
Aunque se trata de un circuito muy simple su realización se hará en dos fases bien diferenciadas, en la primera se soldarán los componentes sobre la placa serigrafiada de circuito impreso, y en la segunda, se procederá a la incorporación de todos los dispositivos auxiliares.



Completa exposición de los componentes y la caja que engloba el preamplificador con vibrator del kit SK-47.

Resistencias

R_1	220 kΩ	R_9	22 kΩ
R_2	250 kΩ (ajus.)	R_{10}	10 kΩ
R_3	56 kΩ	R_{11}	1 kΩ
R_4	56 kΩ	R_{12}	1k5 Ω
R_5	22 kΩ	R_{13}	22 kΩ
R_6	1 MΩ	R_{14}	22 kΩ
R_7	4k7 Ω	R_{15}	4k7 Ω
R_8	4k7Ω		



Circuito impreso montado con los potenciómetros y jacks de entrada y de pedal que se adaptan a la carátula frontal del kit cuya referencia comercial es SK-47.

Condensadores

C_1	47 μF	C_7	1 μF
C_2	100 KpF	C_8	47 μF
C_3	47 μF	C_9	100 μF
C_4	47 μF	C_{10}	47 μF
C_5	47 μF	C_{11}	1 μF
C_6	1 μF		

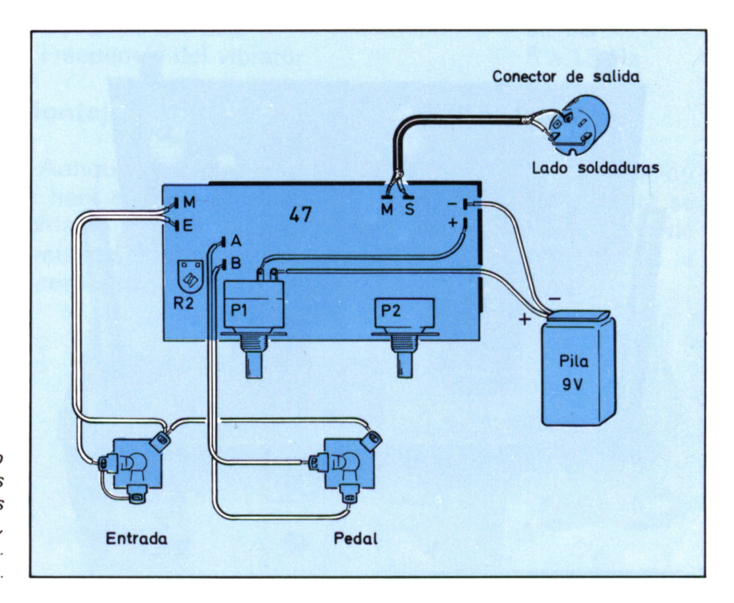
Transistores

Los transistores que aquí se emplean son de dos tipos: Tr_1 es 2N 3819 y los restantes BC 547 o similares.

La placa incorpora también dos potenciómetros, uno de ellos, P_1, lleva dos terminales adicionales que sirven de interruptor para conectar y desconectar el circuito.

Prueba del módulo

La verificación del funcionamiento exige una guitarra eléctrica y un amplificador con el selector en posición *aux* y con entrada *mono.*



Alambrado del circuito impreso con todos los elementos auxiliares: jacks de pedal y de entrada, pila y conector de salida. (Kit SK-47).

El control de ganancia lo constituye la resistencia ajustable R_2, que debe estar en la mitad de su recorrido para corregirla posteriormente hasta conseguir que la audición no distorsione con el máximo volumen del amplificador. Si la guitarra posee control de volumen, deberá ajustarse la ganancia con este control a máxima señal.

La profundidad de modulación requiere variar la posición del potenciómetro P_1.

Otro control importante es el de frecuencia, efectuando la variación resistiva del potenciómetro P_2.

